

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA AMBIENTAL

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO AMBIENTAL**

**TEMA:
ESTIMACIÓN DE FOSFATOS EN CUERPOS DE AGUA
MEDIANTE DRONES EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA**

**AUTOR:
VÍCTOR HUGO NOROÑA VALLEJO**

**TUTOR:
CÉSAR IVÁN ÁLVAREZ MENDOZA**

Quito, septiembre del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Víctor Hugo Noroña Vallejo con documento de identificación N° 1713716460, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: ESTIMACIÓN DE FOSFATOS EN CUERPOS DE AGUA MEDIANTE DRONES EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO AMBIENTAL, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Víctor Hugo Noroña Vallejo
171371646-0

Septiembre, 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, **ESTIMACIÓN DE FOSFATOS EN CUERPOS DE AGUA MEDIANTE DRONES EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA** realizado por Víctor Hugo Noroña Vallejo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre de 2020



CÉSAR IVÁN ÁLVAREZ MENDOZA

C.I. 1720100922

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a mi familia, a mi madre que ha sido el pilar fundamental de mi desarrollo personal y académico y profesional, quien con dedicación amor y esfuerzo ha forjado los ideales que guiaron este camino arduo pero satisfactorio.

A mi padre que está presente en mi mente y corazón pues a él le debo la vida, los valores y enseñanzas de no darse por vencido y levantarme ante toda adversidad.

A mis hermanos Cristian por ser parte de mi familia, Analí por todo el apoyo y ayuda para que esta meta sea posible y este sueño se haga realidad. David, Victoria, Thaiz por formar parte de mi vida. Quiero que vean en mí un ejemplo a seguir de constancia, empeño garra y corazón para afrontar la vida y escalar cada peldaño con firmeza y valentía.

A los hermanos que me regalo la vida Patricio y Jean Pierre, por crecer junto a mí y darme ese ejemplo de no bajar los brazos, por compartir toda una vida y por ser parte de cada momento de alegría y de tristeza en este camino.

(Dayito)

AGRADECIMIENTO

Agradezco con la mano en el corazón al esfuerzo de mi madre Rocío Vallejo, porque ha dedicado su vida a darnos todo lo que hemos necesitado sobre todo la educación. A mi hermana Analí Noroña por su constante apoyo en el transcurso de mi trayectoria educativa, por supuesto a mi sobrina Amy porque con su personalidad y ocurrencias siempre ha estado presente para brindarnos alegría.

Debo agradecer a los señores y señorita miembros del Cuerpo de Bomberos de Quito por la gestión operativa, gracias a su apoyo se culminó con éxito el proyecto de investigación.

Un agradecimiento especial al Colegio ``Juan Pío Montufar`` y a la cúpula de magnos profesores pues con ellos fue el lugar en donde adquirí los conocimientos bases para lograr un camino de profesionalismo y una vida identificada en valores y principios.

Pues antes de ser un excelente profesional es indispensable ser una buena persona.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS	6
2.1. Objetivo General	6
2.2. Objetivos específicos.....	6
3. MARCO TEÓRICO	7
3.1. Fundamentos Teóricos de las Aguas Termales.....	7
3.1.1. Origen Geológico.....	7
3.1.2. Características de las Aguas Termales.....	7
3.1.3. Clasificación de las Aguas Termales.....	7
3.1.4. Calidad de las Aguas Termales.....	9
3.1.5. Caracteres Físico-Químicos.....	9
3.1.5.1. pH (Potencial de Hidrógeno).	9
3.1.5.2. Temperatura.	10
3.1.5.3. Oxígeno Disuelto.....	11
3.1.5.4. Conductividad Eléctrica.	12
3.1.5.5. Fósforo.	12
3.1.5.5.1. Métodos de Remoción del Fósforo en el Agua.....	12
3.2. Concentración de Fosfato (PO₄) – 3	12
3.2.1. Relación Geológica de las Aguas Termales	13
3.2.2. Espectrofotometría para Detección de Rangos Bajos de Fosfatos.....	14
3.3. Caracterización de la Zona de Estudio.....	14
3.3.1. Volcán Ilaló	14
3.3.2. Fuentes Termales.....	15

3.3.2.1.	Fuente Termal Ilaló.....	16
3.3.2.2.	Fuente Termal La Merced.....	18
3.3.2.3.	Fuente Termal El Tingo.....	20
3.3.2.4.	Fuente Termal Rumiloma.....	21
3.4.	Sistemas de Teledetección.....	22
3.4.1.	<i>Teledetección Ambiental.</i>	23
3.4.2.	<i>Reflectancia, Absortancia y Transmitancia.</i>	23
3.4.3.	<i>Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV)</i>	24
3.4.3.1.	Drone Matrice 600 Pro.	24
3.4.3.1.1.	Cámara Térmica Zenmuse XT2.	26
3.4.3.1.2.	GPS Mobile Mapper 50.....	28
3.5.	Espectrofotometría.....	28
3.5.1.	<i>Ley de Lambert-Beer.</i>	28
3.5.2.	<i>Fotometría.</i>	30
3.5.3.	<i>Fotómetro.</i>	30
3.5.3.1.	Fotómetro Hanna HI83399.....	31
3.5.4.	<i>Kit de Fosfato.</i>	32
3.5.4.1.	Kit de fosfato Hanna HI93713-0.	32
3.5.5.	<i>Multiparamétrico</i>	33
3.5.5.1.	Multiparamétrico HQ 30d.	34
3.6.	Índices Espectrales.	34
3.6.1.	<i>NDWI</i>	35
3.7.	Softwares empleados.	35
3.7.1.	<i>DjPilot.</i>	35

3.7.2.	<i>Pix4D.</i>	36
3.7.3.	<i>ArcGis.</i>	37
3.7.4.	<i>RStudio.</i>	37
3.7.4.1.	Tidyverse.	38
3.7.4.2.	Car.	39
3.7.4.3.	Boot.	39
3.7.4.4.	Quant Psych.	39
3.7.4.5.	Ggplot2.	40
3.7.4.6.	Psych.	40
3.8.	Modelo de Regresión Lineal.	40
3.8.1.	<i>Análisis de Correlación.</i>	40
3.8.2.	<i>Diagramas de Dispersión.</i>	40
3.8.3.	<i>Coefficiente de Correlación Lineal.</i>	41
3.8.4.	<i>Modelo de Regresión Lineal Simple (MRLS)</i>	41
3.8.4.1.	Método de Mínimos Cuadrados.	43
3.8.4.2.	Coefficiente de Determinación R^2	43
3.8.4.3.	R^2 Ajustado.....	43
3.8.4.4.	Desviación Típica o Estándar (Raíz Cuadrada de la Varianza).	44
3.8.4.5.	Error Estándar Residual (RSE).	44
3.8.5.	<i>Supuestos del Modelo de Regresión Lineal.</i>	44
3.8.5.1.	Diagnóstico del MRL.....	45
3.8.5.2.	Gráfica de Residuos vs Ajustados.	45
3.8.5.3.	Gráfica de Escala Ubicación.....	46
3.8.5.4.	Grafica de Normalidad (Q-Q Plot).	47

3.8.5.5.	Gráfica de Distancia Cook.....	48
3.8.5.6.	Prueba de Durbin Watson.	49
3.8.5.7.	Prueba de Shapiro Wilk.....	49
3.8.5.8.	Prueba de Constraste Brensch-Pagan.	49
3.8.5.9.	Criterio de Información Akaike.....	49
3.8.5.10.	Métricas de Rendimiento del MRL.	50
3.8.5.11.	Validación Cruzada K- Fold.....	51
3.8.5.12.	Predicción de los Modelos de Regresión.	51
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	52
4.1.	Descripción de la Zona de Estudio.....	52
4.1.1.	<i>Primera Área de Investigación.</i>	<i>52</i>
4.1.2.	<i>Segunda Área de Investigación.</i>	<i>53</i>
4.1.3.	<i>Tercera Área de Investigación.....</i>	<i>54</i>
4.1.4.	<i>Cuarta Área de Investigación.</i>	<i>55</i>
4.2.	Fases de Estudio.....	56
4.2.1.	<i>Fase de Planificación.....</i>	<i>56</i>
4.2.2.	<i>Fase de Identificación.....</i>	<i>56</i>
4.2.3.	<i>Planificación de Vuelos.</i>	<i>57</i>
4.3.	Toma de Muestras.	58
4.3.1.	<i>Primer Muestreo y Levantamiento Aéreo.</i>	<i>58</i>
4.3.1.1.	Complejo Turístico Ilaló.	58
4.3.1.2.	<i>Complejo Turístico La Merced.....</i>	<i>59</i>
4.3.1.3.	<i>Complejo Turístico Rumiloma.....</i>	<i>60</i>
4.3.2.	<i>Segundo Muestreo y Levantamiento Aéreo.....</i>	<i>62</i>

4.3.2.1.	Complejo turístico Ilaló.	62
4.3.2.1.1.	<i>Piscina 1.....</i>	<i>62</i>
4.3.2.1.2.	<i>Piscina 2.....</i>	<i>63</i>
4.3.2.2.	Complejo Turístico El Tingo.	64
4.3.2.2.1.	<i>Piscina 1.....</i>	<i>64</i>
4.3.2.2.2.	<i>Piscina 2.....</i>	<i>65</i>
4.3.2.2.3.	<i>Piscina 3.....</i>	<i>66</i>
4.4.	Análisis de Laboratorio.....	67
4.4.1.	<i>Procesamiento de Datos.....</i>	<i>67</i>
4.4.1.1.	Formación de Modelo Raster.	68
4.4.1.1.1.	<i>Traslape de áreas.....</i>	<i>68</i>
4.4.1.1.2.	<i>Obtención de Nube de Puntos..</i>	<i>68</i>
4.4.1.1.3.	<i>Obtención de Ortomosaico.....</i>	<i>69</i>
4.4.1.2.	Asignación de Valor por Pixel.	70
4.4.2.	<i>Cálculo de NDWI.....</i>	<i>70</i>
4.4.3.	<i>Determinación de Fosfatos</i>	<i>71</i>
4.4.3.1.	Procedimiento de Laboratorio.	71
4.4.3.2.	Preparación de Muestras.....	73
4.4.3.3.	Procedimiento.	73
4.5.	Diseño del Modelo.....	77
4.5.1.	<i>Planteamiento de la Hipótesis.....</i>	<i>77</i>
4.5.2.	<i>Modelo de Regresión Lineal.</i>	<i>78</i>
4.5.2.1.	Aplicación de la Correlación de Datos.....	79
4.5.2.2.	Ejecución del Modelo de Regresión Lineal.	79

4.5.2.3.	Prueba de Durbin Watson.....	80
4.5.2.4.	Prueba Shapiro Wilk.....	80
4.5.2.5.	Prueba de Contraste Breusch-Pagan.....	80
4.5.2.6.	Predicción del Modelo.	80
4.5.2.7.	Criterio de Información Akaike.....	80
4.5.2.8.	Validación Cruzada K-Fold.....	80
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	82
5.1.	Resultados de Campo y Laboratorio.	82
5.1.1.	<i>Parámetros de Calidad de Agua ``in situ``</i>	82
5.1.2.	<i>Valores de Fosfato Obtenidos en Laboratorio.</i>	84
5.2.	Análisis de Correlación	86
5.3.	Variables Empleadas para el Modelo.	88
5.4.	MLR para la Estimación de Concentración de Fosfato.	89
5.4.1.	<i>Evaluación de Supuestos de Regresión Lineal.</i>	90
5.4.1.1.	Grupos de Diagnóstico.	90
5.4.1.1.1.	Gráficos de Diagnóstico para la Validación del Supuesto de Linealidad.....	90
5.4.1.2.	Pruebas de Diagnóstico.	96
5.4.1.2.1.	<i>Selección y Validación del Mejor Modelo.</i>	97
5.4.2.	<i>Ecuación de MRL para la Obtención de Fosfatos.</i>	97
5.4.3.	<i>Predicción y Confianza de los Modelos de Regresión.</i>	98
5.5.	Mapas de Estimación de Parámetros.	99
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
6.1.	Conclusiones.	110
6.2.	Recomendaciones	112

7. BIBLIOGRAFÍA.....	113
-----------------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de los puntos de estudio	3
Tabla 2. Instalaciones Complejo Turístico Ilaló	3
Tabla 3. Instalaciones Complejo la Merced	4
Tabla 4. Instalaciones Complejo la Rumiloma	4
Tabla 5. Instalaciones Piscinas Municipales el Tingo.....	4
Tabla 6. Clasificación de aguas termales de acuerdo a su origen.	7
Tabla 7. Clasificación de aguas termales de acuerdo a su temperatura/ transferencia de calor	8
Tabla 8. Clasificación de aguas termales según su composición química.	8
Tabla 9. Rango de identificación de ph.....	9
Tabla 10. Especificaciones generales	27
Tabla 11. Especificaciones generales cámara térmica.	27
Tabla 12. Especificaciones generales cámara visual.....	27
Tabla 13. Rango del kit de fosfato Hanna.....	32
Tabla 14. Parámetros de vuelo para vehículo drone	57
Tabla 15 Valores de calidad de agua en campo Grupo A	82
Tabla 16 Valores de calidad del agua en campo Grupo B	83
Tabla 17 Presencia de fosfato en las muestras del Grupo A	85
Tabla 18 Presencia de fosfatos en las muestras del Grupo B	85
Tabla 19 Variables para los modelos	89
Tabla 20 Determinación de concentración de fosfatos	89
Tabla 21 Bondad y ajuste del MRL para fosfatos	90
Tabla 23 Prueba de diagnóstico de supuestos para cada Grupo.....	96

Tabla 24 Selección del mejor modelo	97
Tabla 25 Ecuaciones del MRL	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Volcán Ilaló, vista satelital.....	15
Figura 2. Piscina termal (1) complejo Ilaló.....	16
Figura 3. Piscina termal (1) complejo Ilaló, vista desde el drone.	17
Figura 4. Piscina termal (2) complejo Ilaló.....	17
Figura 5. Piscina termal (2) complejo Ilaló, vista desde el drone.	18
Figura 6. Piscina termal complejo La Merced.	18
Figura 7. Piscina termal complejo La Merced tomada desde el drone.	19
Figura 8. Piscina (1) termal complejo El Tingo tomada desde el drone.	20
Figura 9. Piscina (2) & (3) termales complejo El Tingo tomada desde el drone.	20
Figura 10. Piscina termal complejo Rumiloma.....	21
Figura 11. Piscina termal complejo Rumiloma vista desde el drone.	22
Figura 12. Drone Matrice Pro 600 preparándose para ser pilotado.	25
Figura 13. Drone Matrice Pro 600 realizando su vuelo.	25
Figura 14. Espectrofotómetro HI83399 de laboratorio, utilizado para medición de parámetros de calidad de agua.	31
Figura 15. Tabla de especificaciones de espectrofotómetro Hanna HI83208.....	31
Figura 16. Kit de fosfato	33
Figura 17. Multiparamétrico HQ 30d.....	34
Figura 18. Plan de operación de drone	36
Figura 19. Representación de grafica de residuos vs ajustados	45
Figura 20. Grafica de escala vs ubicación en R	46
Figura 21. Grafica de Normalidad.....	47
Figura 22. Gráfica de distancia de Cook	48

Figura 23. Zona general de estudio cerro Ilaló.....	52
Figura 24. Primera área de estudio.....	53
Figura 25. Segunda área de estudio designada.....	53
Figura 26 Tercera área de estudio designada	54
Figura 27 Tercera área de estudio designada	55
Figura 28 Complejo Ilaló, Piscina 1 Vuelo 1	59
Figura 29 Complejo Ilaló, Piscina 1 Vuelo 1	60
Figura 30 Complejo Rumiloma, Piscina 1 Vuelo 1	61
Figura 31 Complejo Ilaló, Piscina 1 Vuelo 2	62
Figura 32 Complejo Ilaló, Piscina 2 Vuelo 2	63
Figura 33 Complejo El Tingo, Piscina11 Vuelo 2	64
Figura 34 Complejo El Tingo, Piscina12 Vuelo 2	65
Figura 35 Complejo El Tingo, Piscina12 Vuelo 2	66
Figura 36 Formación de traslape de puntos	68
Figura 37 Nube de punto en 3D	69
Figura 38 Ortomosaico térmico.....	69
Figura 39 Índice Diferencial de Agua Normalizado	70
Figura 40 Raster del índice NDWI.....	71
Figura 41 Materiales de Laboratorio	72
Figura 42 Organización de muestras	73
Figura 43 Enjuague del vial	74
Figura 44 Equipo encerado	75
Figura 45 Adición del reactivo.....	75
Figura 46 Agitación de la muestra con el reactivo.....	75

Figura 47 Muestra reaccionada al reactivo	76
Figura 48 Resultado de la concentración de fosfato en la muestra	76
Figura 49 Programación para la ejecución del MRL	79
Figura 50 Diagrama del Proceso de Investigación.....	81
Figura 51 Correlación existente entre las variables del Grupo A	86
Figura 52 Correlación entre variables del Grupo B	87
Figura 53 Correlación entre variables en Grupo C	88
Figura 54 Método Cook para Grupo A	90
Figura 55 Método Cook para Grupo B.....	92
Figura 56 Método Cook para Grupo C.....	94
Figura 57 Gráfica de predicción y confianza	98
Figura 58 Gráfica de predicción y confianza	98
Figura 59 Ortomosaico Térmico Piscina 1 vuelo 2 Ilaló	100
Figura 60 Ortomosaico Térmico Piscina 2 vuelo 2 Ilaló	101
Figura 61 Ortomosaico Térmico Piscina La Merced	103
Figura 62 Ortomosaico Térmico Piscina 1 vuelo 2 El Tingo.....	104
Figura 63 Ortomosaico Térmico Piscina 2 vuelo 2 El Tingo.....	105
Figura 64 Ortomosaico Térmico Piscina 3 vuelo 2 El Tingo.....	106
Figura 65 Ortomosaico Térmico Piscina 1 vuelo 2 Rumiloma.....	107

RESUMEN

El agua fuente de vida, conocida a nivel mundial como disolvente universal ya incorpora en su estructura una gran cantidad de sustancias y materiales por su capacidad de desplazamiento en diversas superficies. Como en el caso de las aguas subterráneas dando origen a las fuentes termales gracias a la presión hidrostática, fallas y fracturas que existen en la superficie terrestre. Por medio de la escorrentía y la filtración las aguas subterráneas, captan minerales y/o iones, como el ión fosfato; mismo que se encuentra en el ecosistema de manera natural y puede aumentar su concentración al entran en contacto con varios factores antrópicos.

El presente trabajo se enfoca al estudio de la incidencia de concentraciones de fosfatos en aguas termales en el Volcán Ilaló, introduciendo la técnica de teledetección que permitirá conocer mediante el empleo del dron Matrix 600 pro y la cámara térmica Zenmuse XT2, la temperatura de las piscinas de los complejos: Ilaló, La Merced, El Tingo, Rumiloma. Para conocer la concentración de los fosfatos en dichas piscinas se empleará la técnica de espectrofotometría por medio del fotómetro Hanna y su kit colorimétrico. Una vez obtenidos los parámetros de laboratorio realizará tres modelos de regresión lineal aplicando pruebas de diagnóstico para observar la relación entre los parámetros realizando una validación con Machine Learning que nos permitirá asegurar que el modelo de regresión lineal es apto para el tema de investigación y que gracias a la teledetección con la cámara térmica se obtuvieron datos óptimos para generar resultados de calidad.

Palabras clave: fosfato, iones fosfato, espectrofotometría, Matrix 600, Zenmuse XT2, fotómetro, colorimétrico, Machine Learning, regresión.

ABSTRACT

The water source of life, known worldwide as a universal solvent since it can incorporate a large amount of substances and materials into its structure thanks to its ability to move across various surfaces. As is the case of groundwater that gives rise to hot springs through hydrostatic pressure and various faults and fractures that exist on the earth's surface. Through runoff and filtration, groundwater captures minerals and ions, such as the phosphate ion; which is found in the ecosystem in a natural way and can increase its concentration when the groundwater comes into contact with various anthropic factors.

This work focuses on the study of the incidence of phosphate concentrations in hot springs in the Ilaló Volcano in Ecuador country, introducing the remote sensing technique that will allow us to know, through the use of the Matrix 600 pro drone and the Zenmuse XT2 thermal camera, the temperature of the pools of the complexes: Ilaló, La Merced, El Tingo, Rumiloma. To know the concentration of phosphates in these pools, the spectrophotometry technique will be used by means of the Hanna photometer and its colorimetric kit. Once the laboratory parameters have been obtained, he will perform three linear regression models applying diagnostic tests to observe the relationship between the parameters performing a validation with Machine Learning that will allow us to ensure that the linear regression model is suitable for the research topic and that thanks Remote sensing with the thermal camera obtained optimal data to generate quality results.

Key words: phosphate, phosphate ions, spectrophotometry, Matrix 600, Zenmuse XT2, photometer, colorimetric, Machine Learning, regression.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es pilar de desarrollo y fuente de riqueza, siendo generador potencial para el progreso del hombre. Es un recurso natural renovable e indispensable para el desarrollo de la vida, desarrollo sostenible, socio económico, para la obtención de energía y producción de alimentos, ecosistemas saludables, entre otros. Es conocida como el disolvente universal, es capaz de incorporar una alta cantidad de sustancias debido a los terrenos por los cuales circula. López et al. (2009). Cuando el agua proveniente de la lluvia llega a la superficie terrestre, más de la mitad de las precipitaciones regresa a la atmósfera por los procesos de evaporación o transpiración de las plantas, y que más del 50% restante se escurre; una pequeña cantidad de agua circula por el medio poroso de rocas y son denominadas aguas subterráneas. (Rojas y Paredes, 2013)

Para el estudio del presente trabajo experimental es necesario conocer que 2,5% es el total de agua dulce y 97,5% agua salada en nuestro planeta. Sin embargo, 68,9% se representan en glaciares y hielos permanentes, 0,3% del agua se encuentra en ríos y lagos, 0,9% presente en la humedad del suelo y en el permafrost, mientras que el 29,9% representa las aguas subterráneas. (Candela, 2016). Este tipo de aguas brindan una alternativa para el uso y consumo humano como agua potable y para llevar a cabo diferentes proyectos mineros, agroindustriales e hidrocarburos; genera filtración mediante fisuras y rocas porosas, soleras encontrados bajo la corteza terrestre. Por lo general, la mayoría de aguas subterráneas se originan como agua meteórica y telúrica de acuerdo al lugar de análisis y la formación geológica que presenten, en este caso se identifica la fuente en acuíferos los cuales contienen y almacenan agua que permiten la transferencia en cantidades suficientes para el uso recreacional de la población aledaña al medio ecológico.

En Ecuador uno de los puntos estratégicos con concentración de aguas subterráneas es

el Volcán Ilaló, que se encuentra conformado por una serie de lomas separadas por quebradas poco profundas que confluyen en el río Chiche. Geológicamente está conformado por cangagua, que se produce a partir del material volcánico, esta composición le otorga la permeabilidad necesaria al suelo para que las aguas se filtren, generando el escape por efecto de la presión hidrostática al que es sometida por la actividad magmática y las fallas o fracturas profundas obteniendo así los puntos de salida para la creación de fuentes termales.

Las temperaturas de este tipo de aguas son superiores a la temperatura ambiental, se reconoce como agua termal a aquellas aguas que superan los 5°C por proceder de zonas profundas de la corteza terrestre, llevando en disolución diversas sustancias y gases a los cuales les deben sus propiedades curativas, que les han brindado su tan aclamada fama.

(Duque y Velez, 2019)

El muestreo abarca fuentes geotermales de distintos balnearios cuyo curso del agua se descarga en vertientes que rodean al Volcán Ilaló, los sectores como Tumbaco y el Valle de los Chillos han conseguido obtener los beneficios de este tipo de formación natural, formando complejos turísticos que se abastecen de las aguas provenientes de las laderas que se desprenden de la estructura de este volcán. (Valencia, 2018)

Por lo cual el trabajo experimental se orienta a la investigación de concentración de fosfato que se encuentran presente en las piscinas que albergan el medio hidrológico procedente de estas fuentes de agua magmática, así como las consecuencias tanto positivas como negativas y los parámetros de calidad e índices de reflectancia que se generan, validando las normas dentro de las cuales deben encontrarse delimitadas para el uso óptimo de servicio o bien ambiental del medio como tal.

Se considera el estudio de condición investigativo y experimental. Con una duración indagativa de diez meses aproximadamente, a partir de octubre del 2019 hasta agosto del

2020.

Se designa como autor intelectual a la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito Campus Sur. Siendo sitios de estudio el Complejo Turístico Ilaló, parroquia la Merced; Complejo La Merced, parroquia la Merced; Complejo Turístico Rumiloma, parroquia Guangopolo y finalmente Piscinas Municipales El Tingo parroquia Alangasí, como beneficiarios del estudio.

En las siguientes tablas se detalla los puntos de investigación.

Tabla 1

Dirección de los puntos de estudio

Instalaciones	Ubicación
Complejo Turístico Ilaló	Parroquia rural La Merced sector Guantugloma
Complejo La Merced	Parroquia rural La Merced, calle Termas ES-35 y Av. Ilaló
Complejo Rumiloma	Parroquia Guangopolo, Av. Intervalles y La Chorrera
Piscinas Municipales el Tingo	Parroquia de Alangasí, barrio El Tingo, Av. Ilaló e Intervalles

Nota: Se muestra la ubicación de cada uno de los complejos turísticos destinados para la probable zona de muestreo. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Tabla 2

Instalaciones Complejo Turístico Ilaló

Instalaciones	Ubicación
Piscinas	Tres piscinas de agua termal con una temperatura de 30 °C a 35 °C. Las cuales son captadas mediante tuberías hasta el tanque de distribución. La descarga de las aguas se realiza en el río Pita.
Áreas de deporte	3 áreas deportivas
Otros	2 canchas de vóley
Extensión total	3 hectáreas

Nota: La tabla indica la cantidad de piscinas y que servicios presenta el complejo turístico Ilaló. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Tabla 3*Instalaciones Complejo la Merced*

Instalaciones	Ubicación
Piscinas	Dos piscinas de agua termal con una temperatura de 35 °C. Las cuales son ricas en sulfatos de hierro, aluminio, sodio calcio y potasio
Áreas de deporte	5 áreas recreativas
Otros	Área de camping
Extensión total	3 hectáreas

Nota: Indica la cantidad de piscinas y que servicios presenta el complejo turístico La Merced. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Tabla 4*Instalaciones Complejo la Rumiloma*

Instalaciones	Ubicación
Piscinas	1 piscina
Áreas de deporte	2 áreas
Otros	Senderos y juegos infantiles.
Extensión total	Cinco hectáreas.

Nota: La tabla indica la cantidad de piscinas y que servicios presenta el complejo turístico Rumiloma.

Elaborado por: (Noroña, 2020)

Tabla 5*Instalaciones Piscinas Municipales el Tingo*

Instalaciones	Ubicación
Piscinas	Tres piscinas de agua termal con una temperatura de 37 °C. Las cuales son mixtas de origen volcánica y de filtración
Áreas de deporte	2 canchas
Otros	Senderos y áreas de juegos infantiles
Extensión total	2 hectáreas

Nota: la tabla indica la cantidad de piscinas y que servicios presenta el complejo turístico El Tingo. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Sabiendo la importancia y el aporte de los complejos termales procedentes del volcán extinto Ilaló y su utilización por la población capitalina para recreación y terapias medicinales es necesario utilizar tecnologías que nos faciliten el monitoreo y control, como son las

tecnologías de Información Geográfica, aportando además el uso de drones, en este caso para identificar la concentración de fosfatos presentes en el agua.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Establecer un modelo de previsión de fosfatos en los cuerpos de agua de la provincia de Pichincha con drones en las piscinas del Tingo, La Merced, Ilaló y Rumiloma.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar la aplicabilidad de la cámara térmica a bordo de un drone sobre la captación de información del agua.
- Validar la precisión de la modelación con herramientas de machine learning.
- Analizar la incidencia de la temperatura en el aumento de fosfatos en el agua de las piscinas: Tingo, La Merced, Ilaló y Rumiloma.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Fundamentos Teóricos de las Aguas Termales.

3.1.1. Origen Geológico.

Emergen del subsuelo y presentan principalmente dos características. Se encuentran a $>5^{\circ}\text{C}$ que la temperatura de la superficie. Tienen una composición mineral mayor con respecto a las aguas superficiales y aquellas minerales no termales. Presentan una o varias fuentes probables como: aguas meteóricas, aguas de mar, agua connata, agua magmática, provenientes de procesos geológicos que dan origen a su calentamiento y mineralización. (Duque y Velez, 2019)

3.1.2. Características de las Aguas Termales.

Genéticamente se encuentran relacionadas con aparatos volcánicos jóvenes y un sistema de fallas y fisuras, que permiten su procedencia desde el interior de la tierra; en donde los procesos geodinámicos y geotérmicos se encuentran a temperaturas muy elevadas con altos grados de mineralización. Burbano et al. (2015)

3.1.3. Clasificación de las Aguas Termales.

Según el medio por el cual se originan las aguas termales, se clasifican de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 6

Clasificación de aguas termales de acuerdo a su origen.

Origen	Descripción
Magmáticas	Surgen de una relación directa con filones metálicos o eruptivos. Presentan temperaturas elevadas.
Telúricas	Dependen de la infiltración del agua. Las temperaturas rara vez llegan a 50°C .

Nota: se toma como referencia los conceptos de origen para indicar la clasificación de las aguas.

Fuente: (Pinuaga, 1992) Elaborado por: (Noroña, 2020)

Considerando las clasificaciones que se realizan en base a las propiedades físicas del agua, se identifican de acuerdo a su temperatura. (Fagundo y González, 2009). Clasificándose de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 7

Clasificación de aguas termales de acuerdo a su temperatura/ transferencia de calor

Sistemas	Tipos
Hidrotermales	Es asociado a las intrusiones magmáticas y a su vez se clasifican en sus diferentes niveles de temperatura: Aguas frías menores a 20° C Agua templada entre 20° C a 30° C Aguas termales entre 30° C a 40° C Aguas hipertermales mayores a 40° C Tiene una gran cantidad de gases como H_2 , CH_4 , H_2S , CO_2 , N_2
Acuíferos profundos	Se produce en sistemas de fallas rocosas sedimentarios con una transferencia de calor de conducción baja con respecto a los otros
Roca seca caliente	Formación impermeable donde las fracturas son producidas artificialmente.

Nota: se considera rangos de temperatura para realizar la clasificación según sus niveles en grados. Tomado de: (Berríos, 2015)

Tabla 8

Clasificación de aguas termales según su composición química.

Clasificación	Resumen
Ag. Termal Clorurada	Se obtienen de aguas hidrotermales magmáticas o de fisuras, su anión predominante es Cl^- . Suelen ser frías y las de baja mineralización suelen ser termales.
Ag. Termal Sulfatada	Compuestas por subdivisiones: Sulfatadas cloruradas, sulfatadas cálcicas Donde su principal anión es SO_4^{2-} con varios cationes.
Ag. Termal Sulfurada	Poseen gran capacidad de óxido reducción lo que les concede gran acción para tratamientos de piel.
Ag. Termal Bicarbonatada	Se utilizan mayor mente en bebidas carbonatadas ya que poseen el anión bicarbonato y baja mineralización.

Clasificación	Resumen
Aguas Carbónicas	Su concentración de carbono libre es igual o mayor a 250 mg/l, con propiedades para el beneficio de la digestión y el apetito.

Nota: de acuerdo a la composición química se considera su clasificación en cinco subdivisiones. Tomado de: (Zevallos, 2016))

3.1.4. Calidad de las Aguas Termales.

Se obtiene la evaluación de aguas subterráneas por la obtención de parámetros e indicadores como el pH, porcentaje de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura. Además de la presencia de macro y micro elementos. Existen dos tipos de indicadores importantes, la presencia de nitrógeno (N) y fósforo (P) siendo los dos importantes para la vida, pero dentro de un rango óptimo, por lo contrario, fuera de los parámetros permitidos puede ser perjudicial para el ambiente. Heredia et al. (2020)

3.1.5. Caracteres Físico-Químicos.

3.1.5.1. pH (Potencial de Hidrógeno). Este parámetro se toma de acuerdo a la medida de la diferencia de potencial de una célula electroquímica con el uso de un ph-metro adecuado. Servicio Ecuatoriano de Normalización. (INEN, 2004)

El valor se debe al equilibrio carbónico y a la actividad de organismos acuáticos. Es la concentración de H^+ en el medio. Se encuentra en intervalos de 6 a 8,5 pudiendo en aguas subterráneas presentar valores menores que en aguas superficiales. La escala de ph oscila con valores como muestra la siguiente tabla. (Franzmeier y McFee, 2016)

Tabla 9

Rango de identificación de ph.

RANGO	Ph
4<	Muy Acido
5<	Acido
7=	Neutro
7,5 >	Básicos o Alcalinos
8>	Muy básicos

Nota: tabla elaborada de rangos de pH para la clasificación de acuerdo a sus niveles. Tomado de: (Berríos C, 2015)

3.1.5.2. Temperatura. Se conoce a la temperatura como la cantidad o nivel de energía térmica con la cual cuenta un cuerpo, figura un equilibrio entre la obtención y generación de energía cinética por lo cual a mayor cantidad de energía cinética existirá mayor temperatura y a menor energía cinética presentará una temperatura menor debido a la media de las partículas o valor medio. La distribución que genera en el espacio la temperatura depende de la conductividad térmica e hidráulica que presente el medio, así como depende de la relación entre longitud y profundidad, medio geológico, ubicación geográfica. (Pinagua, 2010)

Se infiere que las aguas conocidas como subterráneas cuentan con temperaturas poco variables, sin embargo; cuenta como un indicador muy importante para el control químico del agua, en especial cuando existe variación de temperaturas en distintas áreas del acuífero, lo cual puede influir en la solubilidad de ciertas sustancias. Dirección General de Salud Ambiental. (DIGESA, 2010)

3.1.5.3. Oxígeno Disuelto. Es la cantidad de oxígeno gaseoso presente disuelto en el agua y se encuentra en función de la presión parcial al oxígeno presente en la atmósfera y la temperatura del medio hidrológico. Según (DIGESA, 2010), citado en (Chaucalá, 2018). Es fundamental para el desarrollo de vida acuática como peces, plantas, algas y múltiples organismos, considerado como indicador de calidad, medido por factores y variables de: solubilidad del gas, presión parcial del gas en la atmósfera, temperatura, pureza del agua. López et al. (2009)

La concentración varía de acuerdo al oxígeno tomado de la atmósfera y al consumido por los organismos vivos dentro del medio y se disuelve con facilidad hasta que el medio se encuentre saturado, a partir de ese punto su difusión es más lenta y su difusión depende del movimiento mismo del agua siendo un movimiento lento y continuo. (Goyenola, 2007)

3.1.5.4. Conductividad Eléctrica. La causa principal son las sustancias que forman iones cuando se disuelven en el agua, los cuales pueden conducir la corriente eléctrica. Es un valor indicador de material disuelto en el agua, la cantidad de conductividad es mayor en aguas mineralizadas. (Auge, 2008)

3.1.5.5. Fósforo. Generalmente se encuentra presente en las rocas y en aguas naturales que combinado con el oxígeno se lo localiza en forma de fosfatos. Las aguas naturales tienen una concentración aproximada de 0,02 partes por millón (ppm), que se identifica como un limitante para el crecimiento de plantas. La concentración de fosfatos por encima de los 100mg/L afecta a los procesos de coagulación y la adición de estas grandes concentraciones acelera el crecimiento de algas y plantas acuáticas, generando así eutrofización, disminuyendo la cantidad de oxígeno presente en el agua y por lo tanto reduciendo la presencia de animales. (Dadzie, 2012)

3.1.5.5.1. Métodos de Remoción del Fósforo en el Agua. El fósforo presente en cuerpos de agua provoca el aumento de oxígeno disponible y nutriente por lo cual se genera crecimiento de plantas acuáticas, lo que genera eutrofización del agua, si se utiliza para el consumo humano, trae graves consecuencias para la población. Organización Mundial de la Salud. (OMS, 2006). Existen ciclos erosivos de las rocas, lo cual al entrar en contacto con la lluvia transporta los fosfatos, mismos que son aprovechados por animales, plantas y microorganismos. En el agua se aprovecha por peces, plantas acuáticas y organismo autótrofos o a su vez se quedan impregnados en los sedimentos de las aguas. Según (Calvopiña y Vilela, 2017) citado en (Romero, 1972)

3.2. Concentración de Fosfato (PO_4)⁻³

Los aniones de fosfato en las aguas termales geomagnéticas o mixtas por lo general se lo encuentra dentro de las siguientes concentraciones: 0,01 a 1 mg/L y en casos extremos se

los puede encontrar hasta en 50 mg/L, dependiendo al tipo de roca o los mecanismos de arrastre de las aguas hacia la superficie. (Glynn y Heinke, 1999)

Sabiendo que el fósforo en las concentraciones establecidas en la legislación es un compuesto básico en las aguas dulces para el equilibrio de los sistemas acuáticos, su forma más usual para ser estudiado es la de fosfato $(\text{PO}_4)^{-3}$; son sales o ésteres del ácido fosfórico los cuales presentan un átomo de fósforo en el centro rodeado de cuatro átomos de oxígeno en forma tetraédrica. (DIGESA, 2010)

Se puede encontrar en las aguas superficiales o termales por la presencia de contaminación proveniente de aguas residuales y de fertilizantes, si es que existen cultivos cercanos a las fuentes termales o a la erosión del suelo.

Las concentraciones de fosfatos y temperatura según Carrera et al. (2017), están posiblemente relacionadas dependiendo el caudal de los cuerpos de agua. Este efecto está marcado por la cantidad de luz solar que recibe afectando directamente a las reacciones físico químicas de especiación del fosforo e inherentemente a la concentración de fosfato $(\text{PO}_4)^{-3}$ e incluso se puede decir que está relacionado a la litología del lugar de estudio.

3.2.1. Relación Geológica de las Aguas Termales

Las diferentes composiciones de las aguas termales básicamente están relacionadas al tipo de geología del cual emanen, es importante señalar que depende su ubicación en las diferentes placas tectónicas y la corteza, dependiendo también si es volcánica, ígnea, sedimentaria, plutónica o metamórfica. (Glynn y Heinke, 1999)

Los cuerpos geológicos con litologías predominantes con presencia de rocas calcáreas sedimentarias presentan en su mayoría calcio y magnesio. Mientras que las rocas ígneas presentan concentraciones de bicarbonatos de sodio, baja salinidad, feldespatos y finalmente las evaporitas presentan concentraciones de magnesio, cloruro y sulfatos. (Auge, 2008)

3.2.2. Espectrofotometría para Detección de Rangos Bajos de Fosfatos.

Método ampliamente utilizado para la detección de componentes en diferentes muestras de aguas residuales. Su mecanismo básicamente está dado por la capacidad de absorbancia que presentan las moléculas de energía luminosa y la facilidad de almacenarla en forma de energía interna. (Levin, 1999)

Consta de una fuente de luz continua con un espacio entre longitudes de onda y un filtro óptico, el cual permite transmitir un haz de luz con longitud de onda fija ondulatoria que atraviesa la cubierta o protector de análisis en donde se localiza la muestra; se extiende desde el espectro ultravioleta que va desde los 380 nm hasta los 780 nm y mediante un detector se mide la intensidad del haz de luz absorbida, para realizar este procedimiento se utiliza reactivos como el disulfato de potasio. (Pütz, 2020)

3.3. Caracterización de la Zona de Estudio.

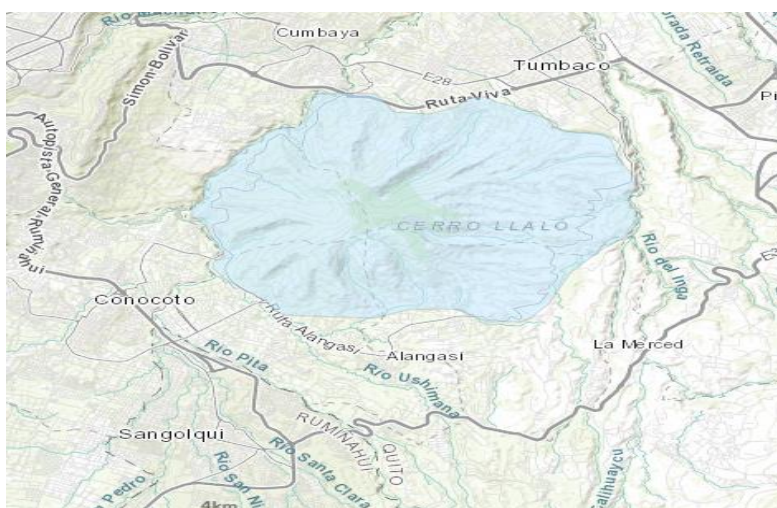
3.3.1. Volcán Ilaló

El cerro Ilaló se encuentra ubicado en el Distrito Metropolitano de Quito, como parte de los bosque y medio vegetativo del Flanco Sur Oriental del Pichincha y Cinturón Verde de Quito. Se levanta en medio de los valles Los Chillos, Tumbaco y Cumbayá. Tiene una altitud de 3185 m.s.n.m. dentro de su paisaje se puede apreciar quebradas, vegetación natural, ríos, riachuelos, entre una amplia gama de sistemas agrícolas, así como variabilidad abundante en flora y fauna. Se considera como un volcán extinto, su última erupción se registra hace 1.6 millones de años. (Secretaría del Ambiente, 2013)

Como jurisdicción político-administrativa, el Ilaló se sitúa sobre cuatro parroquias rurales del Distrito Metropolitano de Quito: parroquia de Tumbaco, siendo parte de sus comunas Leopoldo, N Chávez, Tola Chica, Tola Grande; parroquia de Guangopolo son parte Sorialoma, La Toglla y Rumiloma Alangasí y San Juan de Angamarca, San Pedro del Tingo, Alangasí y San Francisco de Baños o conocido como La Merced en la parroquia de La Merced. (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2015)

Figura 1

Volcán Ilaló, vista satelital.



Nota: Figura tomada en posicionamiento de ubicación al centro del cerro Ilaló. Fuente: (IGEP, 2020)

3.3.2. Fuentes Termales.

Las aguas subterráneas que se filtran mediante fisuras y senderos magmáticos, son aprovechados por la población no solo de los alrededores del cerro Ilaló, sino por todas las comunidades en el mundo que se asientan cercanas a volcanes que permitan la obtención de este tipo de aguas. Ya que como se mencionó anteriormente, son fuentes tanto de salud como de movimiento económico y social gracias al bien y servicio ambiental del que se puede obtener beneficios.

Por su ubicación dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, se han documentado 167

manantiales existentes de aguas termales y minerales, ubicadas principalmente en el callejón Interandino. (Naranjo, 2015)

3.3.2.1. Fuente Termal Ilaló. Las aguas que son recogidas en el balneario Ilaló son un centro de atracción turístico, ubicado en el barrio Guantugloma de la parroquia de La Merced, perteneciente al Distrito Metropolitano de Quito. El complejo como tal cuenta como una superficie de alrededor de 3 hectáreas, rodeado de bosque primario, con tipo de clima templado entre los 14° y 17° C a una altura de 2598 m.s.n.m. (Sacoto, 2019)

El tanque de distribución tiene una temperatura promedio de 34° C, el cual es abastecido desde las vertientes del Volcán Ilaló, mediante tuberías que llegan al tanque para luego repartir a las diferentes piscinas. (Sacoto y Andueza, 2020)

Figura 2

Piscina termal (1) complejo Ilaló



Nota: Fotografía tomada en las instalaciones del complejo turístico Ilaló, piscina considerada como N1 para la respectiva toma de datos. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Figura 3

Piscina termal (1) complejo Ilaló, vista desde el drone.



Nota: Fotografía tomada en las instalaciones del complejo turístico Ilaló, piscina considerada como N1 para la respectiva toma de datos, visualización desde el Vehículo Aéreo no tripulado. Elaborado por:

(CuerpodeBomberosdelDMQ, 2020)

Figura 4

Piscina termal (2) complejo Ilaló



Nota: Fotografía tomada en las instalaciones del complejo turístico Ilaló, piscina considerada como N2 para la respectiva toma de datos. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Figura 5

Piscina termal (2) complejo Ilaló, vista desde el drone.



Nota: Fotografía tomada en las instalaciones del complejo turístico Ilaló, piscina considerada como N2 para la respectiva toma de datos desde el Vehículo Aéreo no Tripulado. Elaborado por: (CuerpodeBomberosdelDMQ, 2020)

3.3.2.2. Fuente Termal La Merced. La Merced es una parroquia rural perteneciente al Distrito Metropolitano de Quito, se localiza a 25 km al sur oriente de Quito con una extensión de 3163 hectáreas; asentada a 2680 m.s.n.m, con temperaturas promedios de 18° C. (GobiernoParroquialLaMerced, 2009)

Las aguas termo-minerales son abundantes en minerales sulfatos de hierro, aluminio, calcio, sodio, y potasio. Sus instalaciones constan de un pozo para recolectar el agua, la cual tiene una temperatura alrededor de 37° C y se direcciona mediante tuberías hacia las respectivas piscinas. (TermasLaMerced, 2012)

Figura 6

Piscina termal complejo La Merced.



Nota: Fotografía tomada en las instalaciones del complejo turístico La Merced, piscina para la respectiva toma de datos. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Figura 7

Piscina termal complejo La Merced tomada desde el drone.



Nota: Fotografía tomada en las instalaciones del complejo turístico La Merced, piscina para la respectiva toma de datos vista desde el Vehículo Aéreo no Tripulado. Elaborado por: (CuerpodeBomberosdelDMQ, 2020)

3.3.2.3. Fuente Termal El Tingo. San Pedro del Tingo, se localiza en las faldas del cerro Ilaló en el Valle de los Chillos, al suroriente de Quito a 2 500 m.s.n.m. Con un área de 1.16 hectáreas. Las aguas que llegan a las instalaciones del complejo turístico tienen un promedio de unos 37° C, las cuales abastecen cinco pozos y se distribuyen mediante tuberías a sus múltiples piscinas. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2015)

Figura 8

Piscina (1) termal complejo El Tingo tomada desde el drone.



Nota: Fotografía tomada en las instalaciones del complejo turístico El Tingo, piscina denominada N1 para la respectiva toma de datos vista desde el Vehículo Aéreo no Tripulado. Elaborado por:

(CuerpodeBomberosdelDMQ, 2020)

Figura 9

Piscina (2) & (3) termales complejo El Tingo tomada desde el drone.



Nota: Fotografía tomada en las instalaciones del complejo turístico El Tingo, piscina denominadas N2 y N3 respectivamente para la toma de datos vista desde el Vehículo Aéreo no Tripulado. Elaborado por: (CuerpodeBomberosdelDMQ, 2020)

3.3.2.4. Fuente Termal Rumiloma. Se encuentra ubicada en las faldas del cerro Ilaló cerca del Rio San Pedro a una altura de 2475 m.s.n.m y un área de 29,95 km², en la parroquia de Guangopolo al este de la ciudad de Quito. Rumiloma significa "Montaña de Piedra"; su balneario llena sus entrañas con agua pura de las montañas del cerro inactivo, las cuales permite disfrutar de aguas termales con una temperatura entre los 31, 5° C aproximadamente. (Jacho, 2015)

Figura 10

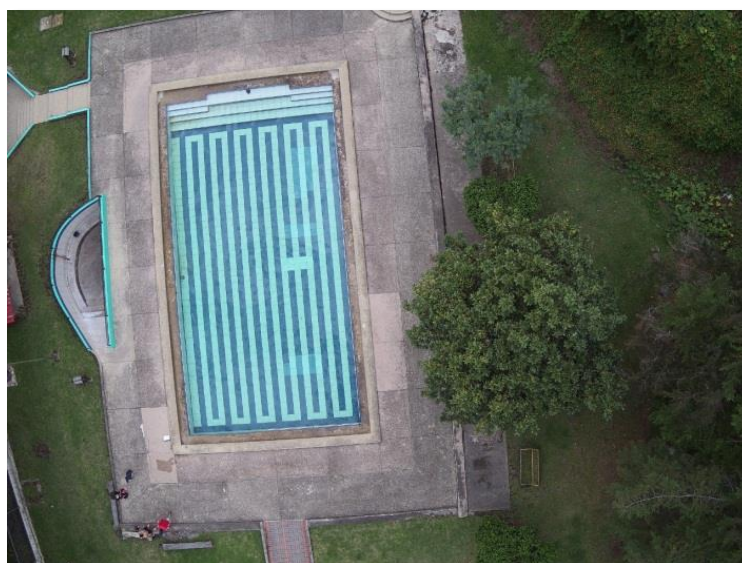
Piscina termal complejo Rumiloma



Nota: Fotografía tomada en las instalaciones del complejo turístico Rumiloma, piscina para la respectiva toma de datos. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Figura 11

Piscina termal complejo Rumiloma vista desde el drone.



Nota: Fotografía tomada en las instalaciones del complejo turístico Rumiloma, piscina para la respectiva toma de datos vista desde el Vehículo Aéreo no Tripulado. Elaborado por: (CuerpodeBomberosdelDMQ, 2020)

3.4. Sistemas de Teledetección.

Es una técnica de recolección de datos mediante satélites indispensables para el avance, optimización y fiabilidad de datos, mediante los cuales se generan análisis digitales de la superficie terrestre. Es una herramienta que genera una interacción electromagnética entre el terreno y el sensor, la radiación que reflejen se debe a las características de los objetos siendo identificados, las cuales son recibidas en un sensor a bordo de un satélite reenviando esta información hacia un receptor que permitirá procesar los datos e interpretar visualmente las imágenes. (HEMAV, 2018).

Los elementos necesarios para el desarrollo del proceso son entre ellos la fuente de energía que es el origen del flujo energético, el cual reflectará la energía electromagnética a los distintos tipos de masas de agua, suelo, vegetación o estructura humana, recibiendo la señal energética que procede de la fuente y la emite de acuerdo a las características física. Un sistema sensor codificador y el sistema de recepción. (Chuvieco, 1990)

3.4.1. Teledetección Ambiental.

El sistema de recursos naturales ha logrado grandes avances con la implementación de la teledetección, ya que permite capturar datos a distancia y recoger información sobre la biosfera, proceso que se basa en las propiedades de la radiación electromagnética y la interacción que genera con materiales de la superficie terrestre permitiendo la interpretación mediante imágenes satelitales. (Romero, 2006). Los modelos que se generen para la interpretación de datos, deben tener la capacidad de eliminar todo efecto que ocasione sesgos, variaciones o perturbaciones al momento de recolectar la información. Esta variabilidad espacial y temporal de reflectancia evidenciará los efectos generados de escala y evolución biológica del ecosistema. (Romero, 2006)

3.4.2. Reflectancia, Absortancia y Transmitancia.

Reflectancia. Se la conoce también como Albedo y se genera cuando la luz ultravioleta se refleja hacia el cuerpo u objeto. (Castro, 1999)

Absortancia. Pertenece a la irradiación absorbida o captada por la superficie receptora. (Castro, 1999)

Transmitancia: Transmite la radiación desde la superficie receptora hacia el sensor. (Castro, 1999)

3.4.3. Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV)

Según (Dr.EduardoÁvalos, 2020) los vehículos aéreos no tripulados permiten a través de su operación el alcance de necesidades y capacidades multisectoriales las cuales abarcan una amplia gama de ramas de investigación. Esto se debe a que este tipo de vehículos se desplazan por zonas ante todo más amplias y remotas y de mayor dificultad de acceso para otro tipo de equipos, así como para el acceso a terrenos irregulares o accidentados y logran superar cualquier tipo de obstáculo ofreciendo gran galería de imágenes. (EscuelaPolitécnicaNacional, 2020)

3.4.3.1. Drone Matrice 600 Pro. La aeronave Matrice 600 Pro es un Drone de uso profesional, diseñado para cinematografía y aplicaciones industriales, prepara levantamientos aéreos de tipo profesional gracias a que permite la integración de cámaras de alta gama y sensores de calidad alcanzando hasta 5 km de recorrido en el área de vuelo, agregando hasta 6 kg de peso extra, lo que le permite llevar en su interior las cámaras ideales para su objetivo. (HOBBYTUXTLA, 2019), además de ello se puede mantener en vuelo sin cargas durante 40 minutos y en función de sus cargas hasta 16 minutos de duración de vuelo, esto se debe al sistema de 6 baterías inteligentes que incluye. (HOBBYTUXTLA, 2019)

Su estructura y configuración es de interacción fácil con el usuario, cuenta con un sistema con un tren de aterrizaje de liberación rápida y los brazos con las hélices son

desplegables, le otorga la capacidad de despegar con una velocidad de 5 m/s y aterrizar a 3 m/s.

El sistema aéreo no tripulado Matrice 600 Pro consta de un sistema de posicionamiento A3 pro, un sistema de administración para las baterías, tren de aterrizaje de rápida liberación y brazos plegables con seis hélices y tres antenas proporcionando la fiabilidad durante el vuelo, ofreciendo precisión ideal para diferentes aplicaciones industriales. (ACG DRONE, 2020)

Figura 12

Drone Matrice Pro 600 preparándose para ser pilotado.



Nota: Fotografía tomada del Vehículo Aéreo no Tripulado Matrice Pro 600, siendo preparado para realizar el vuelo. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Figura 13

Drone Matrice Pro 600 realizando su vuelo.



Nota: Fotografía tomada del Vehículo Aéreo no Tripulado despegando, guiado por los Señores del Cuerpo de Bomberos de Quito. Elaborado por: (CuerpodeBomberosdelDMQ, 2020)

3.4.3.1.1. Cámara Térmica Zenmuse XT2. Es un estabilizador compatible con una gama de drones profesionales; es una cámara visual FLIR de ultra alta definición o 4K debido a este sistema se obtiene una solución al momento de obtener datos de temperatura de manera rápida, efectiva y de confianza. Permite combinar la cámara termográfica radiotérmica con la cámara de video 4K y visualizar datos térmicos e imágenes en tiempo real del espacio mientras el vehículo aéreo no tripulado se encuentra en vuelo. Tiene la capacidad de captar objetos que emiten radiación infrarroja con alto rango, es decir cuando más elevada se encuentra su temperatura y fuera del rango visible. (DIFLY Vision, 2012)

Las aplicaciones para las cuales se emplea este tipo de cámaras son amplias entre ellos para la lucha contra los incendios, localización de personas, líneas eléctricas, inspección de vertientes en lagos o ríos, detecciones de fugas de gases, y extender sus usos profesionales debido a la maximización de sus resultados.

Sus especificaciones y características a continuación.

Tabla 10

Especificaciones sobre las dimensiones de la cámara.

Nombre	Zenmuse XT2
Dimensiones	Con objetivo de 25 mm: 123.7×112.6×127.1 mm Con otros objetivos: 118.02×111.6×125.5 mm

Nota: La tabla refleja las características principales de la cámara que se utiliza en el dron para la respectiva toma de datos. Tomado de: (DeteC, 2020)

Tabla 11

Especificaciones generales cámara térmica.

Cámara	Especificaciones
Sensibilidad térmica	50 MK
Resolución de video	640 x 512 y 336 x 256
térmico	
Fotografía	12 megapíxeles
Objetivos térmicos	9 mm, 13 mm, 19mm, 25mm
Video	4K
Banda espectral	7.5 - 13.5 μ m
Velocidad de cuadro	Entre 9 Hz o 30 Hz
Formatos de fotografía	JPEG, TIFF, R-JPEG
Formatos de vídeo	8 bits: MOV, MP4 14 bits: TIFF

Nota: Especificaciones principales de la cámara termina Zenmuse XT2. Tomado de: (DeteC, 2020)

Tabla 12

Especificaciones generales cámara visual.

Sensor	Especificaciones
Objetivo del sensor	Píxeles: 12 M Objetivo fijo Enfoque a 8 mm
Zoom	1x, 2x, 4x, 8x
Formatos de fotografía	JPEG
Formatos de vídeo	MOV, MP4
Resoluciones de vídeo	FHD: 1920 × 1080 29.97p 4K Ultra HD: 3840 × 2160 29.97p
Sistema Antiparpadeo	Auto, 50 Hz, 60 Hz

Nota: Se identifica las características principales del sensor utilizado en la cámara Zenmuse XT2. Tomado de: (DeteC, 2020)

3.4.3.1.2. GPS Mobile Mapper 50. El equipo Mobile Mapper 50 también conocido como un equipo de ubicación georreferenciada que permite recolectar datos GIS de nueva generación, su uso se asimila a la de un teléfono celular smartpohne, de interfaz interactiva y fácil de manejar, pero de gama profesional. Cuenta con procesador de cuatro núcleos de 1,2 GHz y 16 GB de memoria interna, logrando así maximizar la eficiencia operativa al momento de recolectar datos de ubicación y procesar los datos obtenidos. (GEO ESPATIAL, 2020)

3.5. Espectrofotometría.

Se encarga de estudiar los fenómenos que se ocasionan al entrar en interacción la luz con la materia. (Arenas y López, 2004). Permite medir la interacción que existe entre las moléculas con la radiación electromagnética, normalmente se utiliza con moléculas en disolución generando estados de excitación de los electrones medidos en frecuencia o longitud ultravioleta en rango de 150 a 400 nm y generalmente en la región visible de 400 a 800nm. El tipo de absorbancia que se genera será dependiendo de la concentración de soluto y la espectrofotometría como tal, lo cual va ligado a la ley de Lambert-Beer.

3.5.1. Ley de Lambert-Beer.

Medio matemático que se encarga de expresar la relación obtenida entre la absorbancia de la luz monocromática y concentración de un cromóforo. (Díaz, 2020) es decir, como la materia absorbe la luz.

Nos permite entender que la absorbancia de una solución se relaciona directamente proporcional; es decir que a mayor número de moléculas se genera una mayor interacción de la luz con ellas. (Díaz, 2020)

Según (Brown, 2000) la totalidad de luz reflectada puede disminuir de acuerdo a tres fenómenos físico.

1. Concentración del material

2. La distancia del trayecto óptico
3. Coeficiente de extinción o absorbancia de onda

Esta relación se puede expresar de acuerdo a la siguiente formula.

Ecuación 1

Expresión Matemática de Lambert-Beer

$$A = -\epsilon cd$$

Nota: Formula para expresar la relación de los fenómenos físicos y la ley de Lambert-Beer. Tomado de: (Brown, 2000)

Dónde:

A= absortancia

ϵ = coeficiente molar de extinción

c = concentración molar

d = recorrido [cm]

La cantidad de luz atraviesa un objeto que la absorbe corresponde a la intensidad de luz que incide lo que se multiplica por el coeficiente de absorción. Expresando esta relación de la siguiente manera.

Ecuación 2

Expresión Matemática de Lambert-Beer

$$T = 10^{-\epsilon cd} \quad \text{ó} \quad T = 10^{-A}$$

Nota: Formula para expresar la cantidad de luz absorbida y el cociente de absorción. Tomado de: (Brown, 2000)

La Transmitancia se traza en relación a la concentración y el logaritmo negativo en base 10 refleja la transmitancia lineal con la concentración.

Ecuación 3

Expresión Logarítmica de Lambert-Beer

$$A = -\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \text{ó} \quad A = -\log_{10}(T)$$

Nota: Formula para expresar logarítmicamente la ley de Lambert-Beer. Tomado de: (Brown, 2000)

3.5.2. Fotometría.

Se integra al flujo de una banda espectral; conocida como la ciencia que permite estudiar la capacidad de reflejar la radiación electromagnética que se encuentra dentro del rango de espectro visible al ojo humano, definiendo forma y dirección de la luz emitida conociendo así la distribución de la luz. Este proceso se lo mide en tablas o curvas de acuerdo a un análisis dentro de un laboratorio con un equipo conocido como espectrofotómetro o fotómetro. (LUMINARIAS, 2020)

3.5.3. Fotómetro.

Es un instrumento que se utiliza para calcular la exposición que surge de longitud de onda, la muestra obtenida absorbe la luz y la intensidad de la absorción y refleja el valor de exposición que sería la velocidad de saturación o diafragma (Arenas y López, 2004)

Se caracteriza por poseer una fuente de luz blanca con un espectro de emisión continuo en intervalos amplios de longitudes de onda. Tiene un dispositivo óptico que mide la composición de la luz conocido como monocromador el cual actúa como filtro y transmite la longitud de onda fija, penetrando en la muestra de análisis y reflejando los datos en un detector sensible a la luz que mide la intensidad de haz a la salida. (Harris, 2008)

3.5.3.1. Fotómetro Hanna HI83399. Este equipo fotómetro multiparámetro para el condicionamiento del agua se especializa en medir los parámetros más comunes; veinte métodos esenciales para el condicionamiento de agua.

Su sistema óptico se basa en un subminiatura de lámpara tungsteno (Wolframio) y una banda estrecha de interferencia con filtro lo cual garantiza un alto rendimiento y resultados óptimos y confiables. (Hanna Instruments, 2020)

Figura 14

Espectrofotómetro HI83399 de laboratorio, utilizado para medición de parámetros de calidad de agua.



Nota: Equipo espectrofotómetro, utilizado en la medición de parámetros dentro del laboratorio; visualizando un resultado. Elaborado por: (Noruña, 2020)

Figura 15

Tabla de especificaciones de espectrofotómetro Hanna HI83208

PRUEBA	Rango	MÉTODO	CÓDIGO REACTIVO
Amoniaco MR	0.00 a 10.00 mg/L (ppm)	Nessler	HI 93715-01
Amoniaco LR	0.00 a 3.00 mg/L (ppm)	Nessler	HI 93700-01
Cloro*, Libre	0.00 a 2.50 mg/L (ppm)	DPD	HI 93701-01
Cloro*, Total	0.00 a 3.50 mg/L (ppm)	DPD	HI 93711-01
Cobre HR	0.00 a 5.00 mg/L (ppm)	Bicinchoninato	HI 93702-01
Cobre LR	0 a 1000 µg/L	Bicinchoninato	HI 95747-01
Flúoruro	0.00 a 2.00 mg/L (ppm)	SPADNS	HI 93729-01
Hierro HR	0.00 a 5.00 mg/L (ppm)	Fenantrolina	HI 93721-01
Hierro LR	0 a 400 µg/L	TPTZ	HI 93746-01**
Manganeso HR	0.0 a 20.0 mg/L (ppm)	Periodato	HI 93709-01
Manganeso LR	0.000 a 1.000 mg/L (ppm)	PAN	HI 93740-01**
Molibdeno	0.0 a 40.0 mg/L (ppm)	Ácido Mercaptoacético	HI 93730-01
Niquel HR	0.00 a 7.00 g/L	Fotométrico	HI 93726-01
Niquel LR	0.000 a 1.000 mg/L (ppm)	PAN	HI 93740-01**
Nitrato	0.0 a 30.0 mg/L (ppm)	Reducción de cadmio	HI 93728-01
Oxígeno, Disuelto (DO)	0.0 a 10.0 mg/L (ppm)	Winkler	HI 93732-01
pH	6.5 a 8.5 pH	Fenol Rojo	HI 93710-01
Fosfato HR	0.0 a 30.0 mg/L (ppm)	Aminoácido	HI 93717-01
Fosfato LR	0.00 a 2.50 mg/L (ppm)	Ácido ascórbico	HI 93713-01
Fosforo	0.0 a 15.0 mg/L (ppm)	Aminoácido	HI 93706-01
Plata	0.000 a 1.000 mg/L (ppm)	PAN	HI 93737-01**
Zinc	0.00 a 3.00 mg/L (ppm)	Zincón	HI 93731-01

Nota: Tabla tomada para verificar características específicas sobre el equipo Hanna utilizado para el estudio de espectrofotometría. Tomado de: (Hanna Instruments, 2020)

3.5.4. *Kit de Fosfato.*

Se trata de un test colorimétrico el cual permite determinar la concentración de fosfato en muestras.

3.5.4.1. Kit de fosfato Hanna HI93713-0. Es un kit de reactivo para fosfato rango bajo. Permiten alcanzar mediciones colorimétricas rápidas y precisas. Utilizan una adaptación del método de ácido ascórbico, en donde la reacción de los fosfatos y el reactivo muestran una coloración azulada en la muestra. Esta intensidad se determina con el fotómetro compatible, el mismo que presentara la concentración en mg/L (ppm) (Hanna Instruments, 2020)

Tabla 13

Rango del kit de fosfato Hanna

Valor estándar	Valor objetivo	Valor medio
0.00 ppm	$0.00 \div 0.04$	0.00
0.50 ppm	0.50 ± 0.06	0.51
2.00 ppm	2.00 ± 0.12	2.03

Nota: Rangos en los cuales trabaja el kit de fosfato de Hanna rango bajo. Tomado de: (Hanna Instruments, 2020)

Figura 16

Kit de fosfato



Nota: reactivos del kit de fosfato marca Hanna utilizado en compatibilidad con el equipo fotómetro. Tomado de: (Hanna Instruments, 2020)

3.5.5. **Multiparamétrico.**

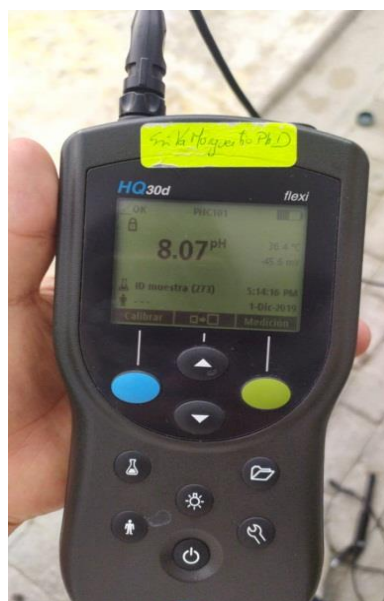
Se requiere del uso de la herramienta conocida como multiparamétrico, se trata de un medidor a la vanguardia de la tecnología. Se conectan al equipo sondas paramétricas inteligentes las cuales reconocen automáticamente los valores de prueba de calidad del agua. (Techlab, 2014)

3.5.5.1. Multiparamétrico HQ 30d. Se requiere del uso de la herramienta conocida como multiparamétrico, el cual se trata de un medidor a la vanguardia de la tecnología. Se conectan al equipo sondas paramétricas inteligentes las cuales reconocen automáticamente los valores de prueba de calidad del agua. (Techlab, 2014)

Cuenta con un integrador de sondas inteligentes de las cuales se puede adaptar para la toma de parámetros como pH, conductividad, presencia de oxígeno disuelto, salinidad, permite la selección manual del estabilizador de resolución y tiempo. El rango de soporte para temperatura oscila entre los 0°C a 50° C con una variación de $\pm 0,3^\circ\text{C}$. (ProdinLab, 2019)son las siguientes:

Figura 17

Multiparamétrico HQ 30d



Nota: sensor multiparamétrico demostrando resultados en la toma de campo ``in situ``. Elaborado por:

(Noroña, 2020)

3.6. Índices Espectrales.

Son índices adimensionales; son resultado de la transformación de dos o más bandas

proceso que mejora el análisis de las propiedades asociado en la identificación de un objeto específico como es el caso de agua, suelo, vegetación y otros múltiples objetos que ayudan identificando ecosistemas mixtos. (Aponte y Ospina, 2019)

Son operaciones algebraicas de mapas, conocida también como calculadora Raster para la ejecución de varias ecuaciones que brindan ayuda en el análisis de teledetección.

3.6.1. NDWI.

El índice normalizado NDWI utilizado para el análisis de masas de aguas utilizando bandas verdes y casi infrarrojas de las imágenes de teledetección. (Bahadur, 2018)

El índice de agua normalizado es un índice de alta sensibilidad a la variación de factores. Los valores que se obtienen van en rangos de -1 hasta 1 siendo valores positivos para la detección de agua y valores negativos o ceros indicativos para vegetación, suelo o rocas. Ariza et al. (2018)

3.7. Softwares empleados.

Son programas y paquetes de programas que permiten el manejo, cálculo, síntesis y análisis de todos y cada uno de los datos a tratar respectivamente.

3.7.1. DjPilot.

Una de las empresas más reconocidas por su tecnología en drones para uso civil y de imagen aérea, desarrolló el software DJI PILOT para el manejo y operaciones de drones, este programa fue concebido para uso profesional, ya que su diseño y funcionalidades brindan una operatividad intuitiva, permitiendo también que los pilotos puedan planificar con gran detalle sus operaciones de vuelo, configurando los parámetros necesarios que permitirán optimizar y maximizar la rentabilidad obtenida con cada uno de sus vuelos.

Es compatible con otras aplicaciones de software, permitiendo compartir los datos de

vuelo y vídeo en tiempo real. En conjunto con el software de gestión de flotas DJI FlightHub; permite operar los drones haciendo uso de una red local de datos, evitando la conexión del dron a internet, garantizando la seguridad de los datos. También transmite alertas del sistema DJI AirSense cuando un dron Mavic 2 Enterprise o Matrice 200 detecte la aproximación de alguna aeronave o algún helicóptero en su ruta de vuelo. (DJI, 2018)

Figura 18

Plan de operación de dron



Nota: Imagen tomada de la ruta generada para el vuelo del vehículo aéreo no tripulado. Elaborado por:

(Noroña, 2020)

3.7.2. Pix4D.

Es un software de fotogrametría que puede ser usado para realizar mapeo profesional con drones. Este programa analiza las imágenes RGB, térmicas, o multiespectrales captadas con cualquier cámara y junto con el programa Pix4Dmapper las transforma en modelos espaciales digitales, modelos digitales de superficie (MDS) y de terreno (MDT), nubes de puntos a todo color, Ortomosaico, Malla texturizada 3D, Mapa Índice Geo TIFF, Mapas térmicos.

Entre sus funcionalidades encontramos herramientas que nos permiten. Recoger información relacionada a diversas ubicaciones geográficas, considerando sus dimensiones, y otros factores que resulten relevantes. También nos permite evaluar posibles aspectos que pueden ser mejorados antes de la entrega final de un trabajo. (Pix4D, 2020)

3.7.3. *ArcGis.*

Es una herramienta que se utiliza para recopilar información georreferenciada, también para interpretar, analizar datos y resolver inconvenientes haciendo uso de las herramientas que nos facilita este programa.

La utilización de mapas inteligentes facilita la interpretación y comprensión de grandes cantidades de información, la compatibilidad de estos mapas con navegadores web, Apps, etc. permiten un fácil acceso a esta información desde cualquier dispositivo en cualquier parte del mundo, lo que hace que esta herramienta sea un instrumento fundamental para la toma de decisiones, ya que los mapas pueden ser utilizados como fuente de consulta, análisis, planificación e incluso administración, así como también como una herramienta fundamental para identificar y comprender patrones, relaciones, y realizar análisis con el objetivo de resolver algún problema específico, y posteriormente realizar un seguimiento. (ArcGis, 2020)

3.7.4. *RStudio.*

En los últimos tiempos, las personas recurren a lenguajes de programación de código abierto como R, Python entre otros, en búsqueda de interpretar y dar sentido a la gran cantidad de datos que es recopilada. Por este motivo RStudio ha desarrollado herramientas gratuitas y compatibles con software como R y Python para brindar las herramientas dedicadas a la optimización del manejo, exploración y visualización de datos. Que son necesarias para que profesionales de diversas áreas pueda escalar y compartir sus trabajos

relacionados con la Ciencia de Datos, Investigaciones Científicas, la Industria, la Educación y Comunicación. De esta manera RStudio busca impulsar el desarrollo de nuevos conocimientos en beneficio de toda la humanidad. (R Studio, 2020)

3.7.4.1. Tidyverse. Según (Tidyverse, 2020) es una colección de paquetes de R desarrollados para el uso en la ciencia de datos; este conjunto de herramientas comparte; el diseño, la gramática y la estructura de datos subyacentes.

- **ggplot2:** revolucionó la concepción y elaboración de gráficos, creando un lenguaje de diferentes capas que permiten filtrar los datos, diferentes geometrías, escalas, coordenadas, etc.
- **dplyr:** considerado un lenguaje equivalente al SQL, que incluye sus mismas funcionalidades.
- **readr:** permite la integración con las otras librerías de lectura de R mediante la concatenación de órdenes.
- **purrr:** permite explorar la vectorización.
- **tidyr:** transforma cualquier formato de dato en un formato que sea legible para los algoritmos y el resto de las librerías.
- **tibble:** transforma datos formato “data-frame” y otros en un formato “tibble” el cual es mucho más amigable con el usuario.

3.7.4.2. Car. Es un paquete de herramientas de R, el cual permite la creación y cálculo de Elipses, contrastes, predicciones, diagramas de dispersión, Bootstrapping para modelos de regresión, diagramas de caja, Anova, Importar datos, funciones lineales, avPlots, bcPower, exportar datos, boxTidwell, crPlots, boxCox, dfbetaPlots, InvResPlot, symbox, gráficos de dispersión, prueba atípica, parcelas individuales, spreadLevelPlot, entre otros. (Fox y Weisberg, 2020)

3.7.4.3. Boot. El paquete Boot está asociado al libro Bootstrap Methods and Their Applications (Davison y Hinkley, 1997), y nos permite calcular replicaciones Bootstrap y también construir intervalos de confianza. (Angelo, 2020)

3.7.4.4. Quant Psyc. El paquete de QuantPsyc para R, cuenta con herramientas de psicología cuantitativa, las cuales nos permitirán realizar diversas tareas como: Gráficos de análisis de datos exploratorios, mediación compleja para usar en Bootstrapping, pruebas de normalidad multivariante, coeficientes de regresión estandarizados, teoría simulada de datos de acción reforzada, potencia en distribución F, gráfico de densidad normal, Torcedura y Kurtosis, entre otros. (Cran. R project, 2020)

3.7.4.5. Ggplot2. Elegant graphics for data analysis por sus siglas en inglés. Es una herramienta perteneciente al paquete de software R Studio el cual permite analizar información espacial, pero de una manera más elegante mediante gramática de gráficos, aplicados de manera principal en los sistemas de información geográfica, generando valores de tamaño, color, escala con localización en los puntos de cada eje agregando estética y detalles a la lectura de datos procesados. (Coll y Pérez, 2017)

3.7.4.6. Psych. El paquete Psych integrante del software R studio, tiene consigo una amplia gama de herramientas que bien utilizadas permiten el análisis de personalidad, teoría psicométrica, y psicología experimental. Principalmente se realizan análisis multivariados y la construcción de escalas realizando un análisis factorial, de las principales componentes de los datos a procesar, conglomerados y las pruebas de confiabilidad, la teoría de respuesta se la realiza mediante un análisis factorial de correlaciones tetracóricas y policíacas. (Cran. R project, 2020)

3.8. Modelo de Regresión Lineal.

3.8.1. *Análisis de Correlación.*

Permite al usuario medir el grado de relación entre los diferentes tipos de variables; como análisis de correlación simple que mide la relación solo entre una variable independiente (X) y la dependiente (Y). Y el análisis de correlación múltiple enfocado en mostrar el grado de asociación entre dos o más variables tanto dependientes como independientes. (DelaFuente, 2020)

3.8.2. *Diagramas de Dispersión.*

O nube de puntos, con este tipo de diagramas se puede intuir si existe relación entre las variables, representadas en un eje de coordenadas x-y en forma de nube de puntos. (DelaFuente, 2020)

3.8.3. *Coeficiente de Correlación Lineal.*

También se lo llama coeficiente de correlación de Pearson designado como r , sus valores oscilan entre -1 y +1. Su expresión:

Ecuación 4

Expresión para la correlación lineal o de Pearson.

$$r = \frac{\text{Cos}(X,Y)}{S_x S_y}$$

Nota: expresión tomada de postulado propuestos para plantear el cálculo de correlación lineal. Tomado de: (DelaFuente, 2020)

En donde, se conoce que si la constante " r " se aproxima al valor de +1 se infiere que la correlación tiende a ser lineal y directa, y si esta constante se aproxima al valor de -1 se interpreta que la correlación tiende a ser lineal e inversa. (DelaFuente, 2020)

3.8.4. *Modelo de Regresión Lineal Simple (MRLS)*

Principalmente el objetivo de este método matemático es tratar de explicar la relación que se genera o puede llegar a existir entre una variable dependiente conocida también como variable de respuesta y una o variable o conjunto de variables independientes conocidas también como variables explicativas.

Se representa mediante la siguiente expresión:

Ecuación 5

Expresión MRLS

$$YX = \alpha + \beta + \varepsilon$$

Nota: expresión postulada para la representación del modelo de regresión lineal. Tomado de: (DepartamentodeEstadísticaEInvestigaciónOperativa, 2012)

En donde, α representa el valor que toma Y cuando X vale 0; β siendo la pendiente de la recta cambia Y al incrementar X en una unidad; ε variable en conjunto de

grandes factores. (DepartamentodeEstadísticaEInvestigaciónOperativa, 2012)

3.8.4.1. Método de Mínimos Cuadrados. Los valores que se adopten de alfa y beta son los que permitirán minimizar la suma de los cuadrados de las distancias obtenidas entre los datos puntuales ingresados y la línea de regresión ajustada. Para generar la línea que mejor se ajuste generando la menor cantidad posible de desviaciones cuadradas. (Susan, 1999)

3.8.4.2. Coeficiente de Determinación R^2 . Es una medida estadística conocido como coeficiente de determinación o coeficiente de determinación múltiple de ser el caso, el cual nos permite calcular que tan cerca se encuentran los datos de la línea de regresión ajustada. Representa el porcentaje de las variaciones de las variables utilizadas como datos en un modelo matemático lineal. El valor de R cuadrado se da entre el 0% que significa que el modelo no demuestra ningún tipo de varianza de acuerdo a su medida y el 100 % que indica toda variabilidad de datos. Si el modelo presenta una correlación positiva, la línea de regresión de pendiente positiva se grafica en forma ascendente de izquierda a derecha; mientras que una correlación negativa, es decir una regresión con pendiente negativa, grafica una línea descendiendo de izquierda a derecha. (Susan, 1999)

3.8.4.3. R^2 Ajustado. La aplicación del método de coeficiente de determinación ajustado otorga el valor de no cometer el error de sobreestimación del modelo. Es decir que, a medida que se agregan variables a las regresiones, el coeficiente tiende a aumentar incluso tomando en cuenta aquellas varianzas sin mayor importancia y generando expectativas del modelo con poca probabilidad. Por lo cual, ajustar el coeficiente de determinación nos permite obtener el porcentaje de variación que tiene la variable dependiente siendo explicada por las o la variable independiente. (López, 2020)

3.8.4.4. Desviación Típica o Estándar (Raíz Cuadrada de la Varianza). Representa la medida de dispersión de los datos, en donde; cuanto mayor llegue a ser la dispersión la desviación estándar será mayor. Si se diera el caso de que no existe ninguna varianza, es decir si los datos son iguales la desviación estándar sería cero. (Navarro, 2009)

3.8.4.5. Error Estándar Residual (RSE). La desviación estándar permite medir la precisión con la cual se generarán los datos para el modelo matemático más óptimo de acuerdo a su medida. Cuantifica las variaciones de las medidas de los datos obtenidos de las muestras. Es la medida del error que se presenta cuando se calcula la medida verdadera en los valores de la muestra; gracias a este cálculo, se llega a la obtención del valor del intervalo de confianza de las medidas correspondientes para el modelo. (Navarro Frías, 2009)

3.8.5. *Supuestos del Modelo de Regresión Lineal.*

Se deben seguir un conjunto de supuestos para lograr un diagnostico óptimo de los modelos de regresión, los cuales se requieren para la inferencia de parámetros. (Franco, 2007)

- Las variables dependientes e independientes y los parámetros analizados se deben encontrar en forma lineal.
- Un modelo correctamente definido, incluyendo variables explicativas o independientes sin dejar de lado las variables con mayor relevancia para explicar los valores que genera la variable dependiente; la relación matemática que presenta debe mantenerse constante y dentro del periodo muestral en que se obtienen los datos.
- Se requiere una variable independiente no aleatoria.
- Identificabilidad de parámetros.
- Esperanza de los errores dada es nula.
- Errores presentan varianza constante.
- Errores distribuidos de forma normal.

3.8.5.1. Diagnóstico del MRL. Los diagnósticos son predicciones que nos permiten de manera estadística prever que no se generen errores atípicos dentro de la obtención de resultados, además de validar los supuestos planteados del modelo de regresión y mediante gráficos o pruebas evitar aquellos conflictos que pueden afectar o modificar el modelo.

3.8.5.2. Gráfica de Residuos vs Ajustados. Los residuos, son errores de la diferencia que existe entre los valores observados y los valores que permite predecir en el modelo. Las gráficas de residuos es una gráfica que se utiliza para examinar la bondad de ajuste en regresión. Analizar las gráficas de residuos permite determinar si se cumple los supuestos de los mismos cuadrados ordinarios. Si los supuestos planteados se cumplen, entonces la regresión que se forma de mínimos cuadrados producirá estimaciones de coeficiente sin sesgo o con porcentajes de valore reducidos con la varianza mínima. (Minitab 18, 2020)

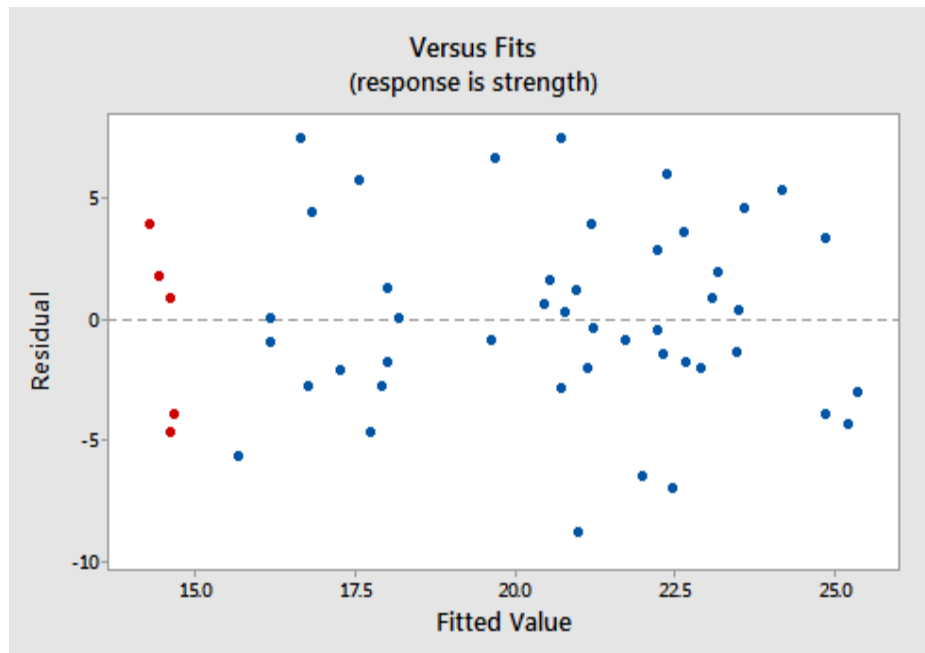
La gráfica de residuos versus los ajustes muestra los residuos en el eje Y, y los valores ajustados en el eje X. (Minitab 18, 2020)

Para interpretar la gráfica de ajuste versus residuos, debemos comprobar que se cumpla la premisa de que los residuos están distribuidos aleatoriamente y mantienen una varianza constante. (Minitab 18, 2020)

En condiciones idóneas, los puntos deben caer aleatoriamente en ambos lados de 0, con patrones no detectables en los puntos. (Minitab 18, 2020)

Figura 19

Representación de grafica de residuos vs ajustados



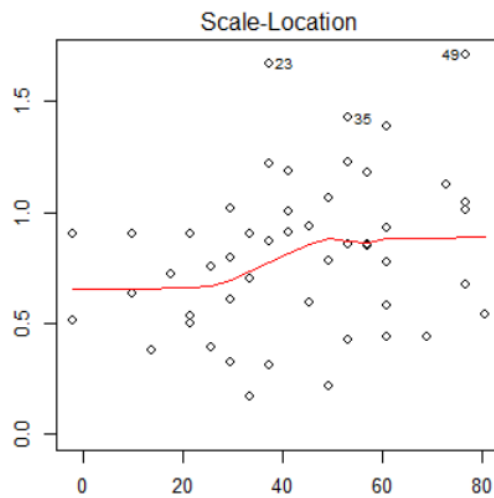
Nota: Se presenta un ejemplo en el cual se visualiza la gráfica de residuos vs ajustados, demostrando una tendencia lineal. Tomado de: (The Pennsylvania State University, 2018)

3.8.5.3. Gráfica de Escala Ubicación. Esta gráfica nos permite comprobar la homogeneidad de los datos presentados en la varianza de los residuos, esta comprobación recibe el nombre de homocedasticidad.

La expansión lineal que se observa de la nube de puntos es un indicador de la homocedasticidad siempre y cuando se presente una distribución igual o equitativa, caso contrario nos demuestra que existe heteroscedasticidad, lo que quiere decir una desigualdad o datos con distribución al azar. (Rosales, 2017)

Figura 20

Gráfica de escala vs ubicación en R

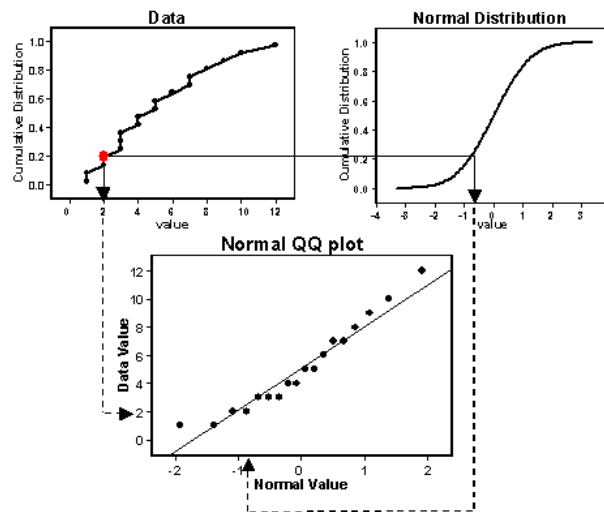


Nota: Representación del ejemplo de una gráfica de escala vs ubicación en RStudio. Tomado de: (Hagerman, 2017)

3.8.5.4. Gráfica de Normalidad (Q-Q Plot). El análisis de normalidad, también llamado contraste de normalidad, analiza cuanto difiere la distribución de los datos observados respecto a una distribución normal con la misma media y desviación típica. Un gráfico de Q-Q (quantile-quantile) es un método gráfico para comparar dos distribuciones de probabilidad al trazar sus cuantiles uno contra el otro. En este caso, lo ideal es que los puntos se acerquen a una recta diagonal. Velasquez et al. (2018)

Figura 21

Gráfica de Normalidad

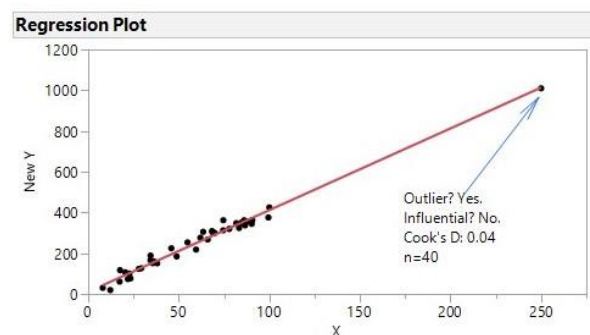


Nota: Representación de la gráfica de Normalidad en Q-Q plot. Tomado de: (Statistical Discovery, 2019)

3.8.5.5. Gráfica de Distancia Cook. La distancia de Cook es una técnica estadística que nos permite identificar puntos influyentes que se encuentran en el rango de los datos ingresados, consiste en buscar la distancia significativa de observación, si tiene un valor mayor a 1 serán datos de influencia relativa. Esta distancia se calcula mediante el software R studio mediante la función `cooks.distance`, identificando la relación entre variables informando la estabilidad e idoneidad del análisis. (Vaquerizo, 2008)

Figura 22

Gráfica de distancia de Cook



Nota: Representación de un ejemplo de la gráfica de distancia de Cook. Tomado de: (Statistical Discovery, 2019)

3.8.5.6. Prueba de Durbin Watson. Es un método detectar la presencia de autocorrección en los residuos de una regresión. Trabaja con dos tipos de hipótesis: Hipótesis nula que dice que no hay correlación entre residuos e hipótesis alternativa en donde dice que los residuos están auto correlacionados. (Statistics Simplified, 2020)

3.8.5.7. Prueba de Shapiro Wilk. Consiste en un test más formal de normalidad, esto quiere decir que es una prueba aplicable para muestras tomadas que no superen los 50 datos; tomando un nivel de significancia generalmente de 0,05 permite determinar desviaciones en la normalidad del modelo, la prueba genera una hipótesis nula y una hipótesis alternativa en donde la primera dice que la distribución es normal y la segunda que no es normal, lo cual mediante el nivel de significancia se busca rechazar esta hipótesis nula; en caso de que el modelo no pase la prueba se puede establecer que los datos no se ajustan a una distribución normal con el 95% de confianza. (Seir, 2012)

3.8.5.8. Prueba de Contraste Breusch-Pagan. Evalúa la desigualdad de varianzas de residuos determinando la heteroscedastidad Aquí se supone que la hipótesis alterna con la cual se trabaja es una forma funcional de variables exteriores y se toma una función lineal de primer orden por que se aproxima a cualquier función. (Jardon, 2020)

3.8.5.9. Criterio de Información Akaike. Es la medida que presenta de la bondad de un modelo matemático estadístico, proporciona un método simple y objetivo que selecciona el modelo más adecuado para caracterizar los datos experimentales, más que una prueba de hipótesis se refiere a un test de comparación entre los diferentes tipos de modelos para la selección del más óptimo en relación con el valor mínimo de AIC siendo la mejor. Martínez et al. (2019)

Ecuación 6

Expresión para interpretar el criterio de Akaike

$$AIC = 2K - 2 \ln(L)$$

Nota: Formula para determinar el análisis del criterio de información de Akaike. Tomado de: Martínez et al. (2019)

Este criterio se define como $\ln(L)$ que representa la función del logaritmo de la máxima verosimilitud para determinar los valores de los parámetros del modelo estadístico y K es el número de parámetros libres del modelo. Martínez et al (2019)

3.8.5.10. Métricas de Rendimiento del MRL. Se aplican este tipo de métricas para llevar un seguimiento de que el modelo se comporta adecuadamente. Según (Román, 2019)

Error Absoluto Medio. Es la medida de la diferencia absoluta entre los puntos de datos reales y salida predicha.

Error cuadrático medio. Este método penaliza más las diferencias siendo la estándar en los problemas de regresión. Es el método más recomendado para utilizar ya que calcula la recta que mejor se ajuste.

Error cuadrático medio. Es la raíz de la media de errores elevados al cuadrado. Es un evaluador para determinar el desempeño de los modelos de regresión.

Coefficientes de determinación o R^2 . Se entiende como una versión estandarizada del error cuadrático medio que proporciona una interpretación más óptima del rendimiento del modelo.

3.8.5.11. Validación Cruzada K- Fold. La Validación Cruzada o k-fold Cross Validation es un tipo de algoritmo matemático perteneciente a la implementación de Machine Learning, el cual consiste en tomar los datos originales y crear a partir de ellos particiones, un primer conjunto de entrenamiento o prueba, y un segundo de validación. Incluye el procesamiento de datos hasta la creación de nuevas variables que permitan alimentar al modelo generando mayor confiabilidad y adaptabilidad de acuerdo a las necesidades requeridas. (Delgado, 2018)

3.8.5.12. Predicción de los Modelos de Regresión. Sea el modelo de regresión lineal según (González y Orbe, 2019)

Ecuación 7

Expresión para predicción de regresión lineal

$$Y = X\beta + \mu \quad \mu|X \sim N(0, \sigma^2 (X^T X)^{-1})$$

Nota: Formula para determinar el análisis de predicción de la regresión lineal. Tomado de: Martínez et al. (2019)

Predicción: Estimar Y_p para valores dados de X_p

Y_p es una variable aleatoria. Se proponen dos tipos de predicción:

- Predicción por punto, \hat{Y}_p : un único valor de la distribución de Y_p .
- Predicción por intervalo: proporciona una medida de la incertidumbre de la predicción por punto, \hat{Y}_p , mediante la construcción de un intervalo de confianza.

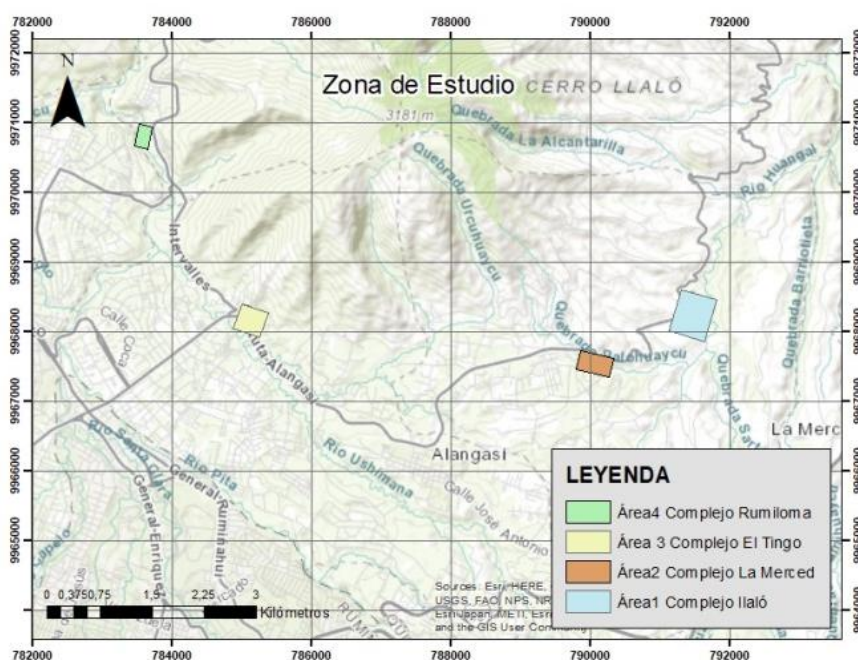
4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción de la Zona de Estudio.

Para realizar la presente investigación se tomó como zona de estudio las áreas de cuatro complejos turísticos, los cuales albergan aguas subterráneas de origen magmático pertenecientes a las vertientes procedentes del Volcán inactivo Ilaló, situado cerca de la cuenca del río San Pedro afluente de descarga al río Guayllabamba; perteneciente al cantón Quito, provincia de Pichincha entre el valle de Tumbaco y el valle de Los Chillos.

Figura 23

Zona general de estudio cerro Ilaló

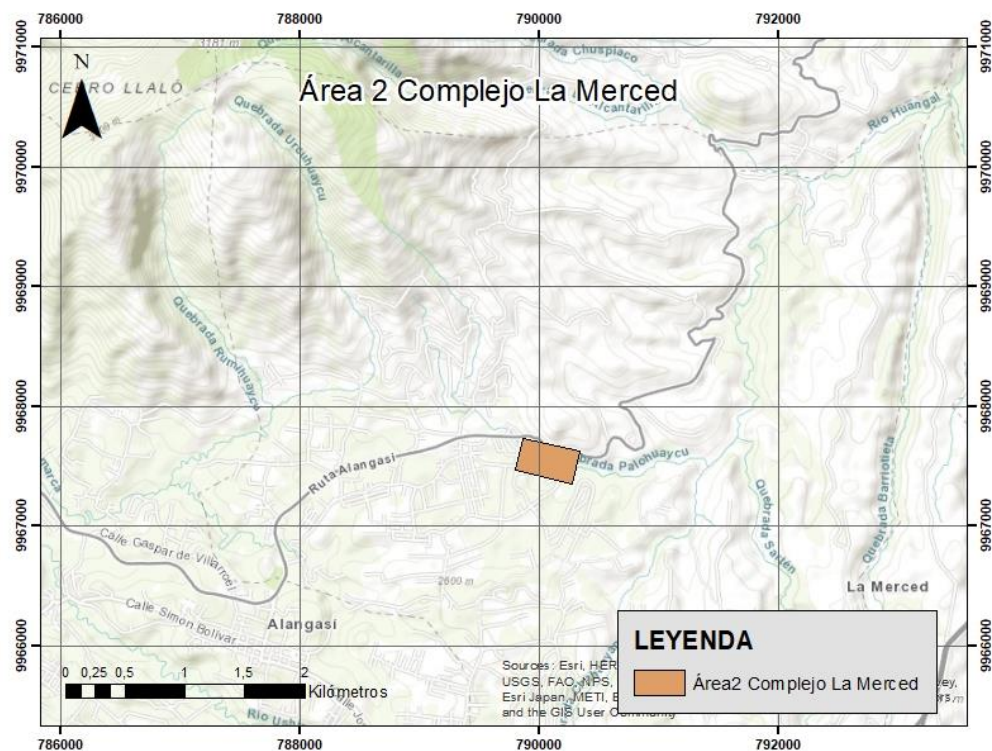


Nota: Imagen satelital topográfica tomada del conjunto de áreas a realizar el estudio en el cerro Ilaló.

Elaborado: (Noroña, 2020)

4.1.1. Primera Área de Investigación.

Se planteó como primera área de estudio a las instalaciones del centro de atracción turístico Complejo Ilaló, ubicado en la parroquia rural La Merced en el sector de Guantugloma a 2598msnm aproximadamente, en el cantón Quito provincia de Pichincha.



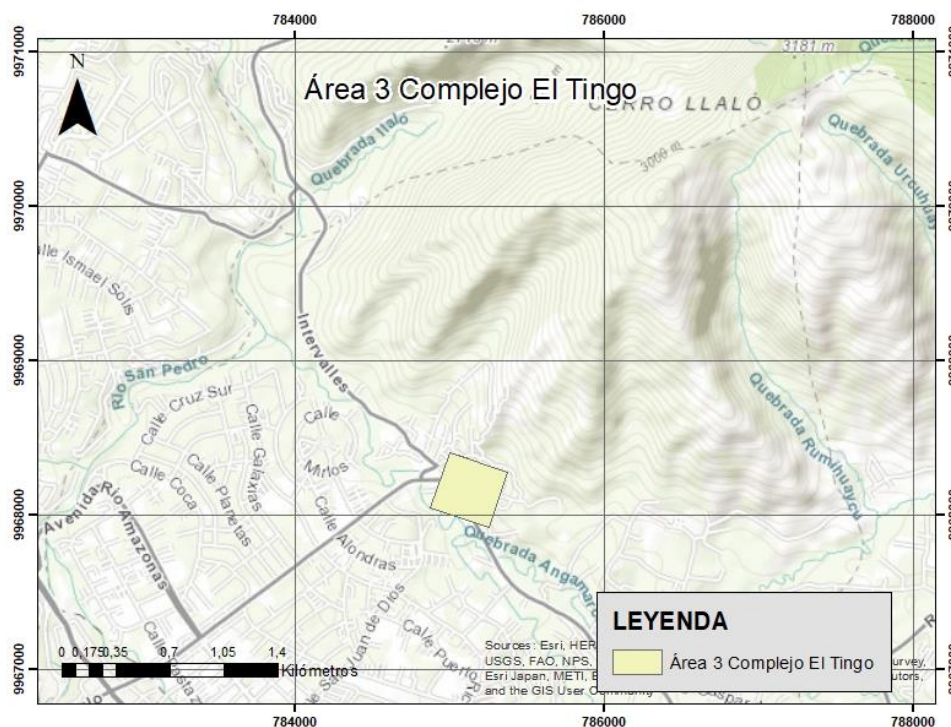
Nota: Imagen satelital topográfica de la segunda área de estudio determinada en el complejo turístico La Merced. Elaborado por: (Noroña, 2020)

4.1.3. Tercera Área de Investigación.

Como tercera área de investigación para el presente estudio se determinó al centro de atracción turística conocido como El Tingo gracias al reconocimiento de la vertiente de sus aguas y la gran afluencia de personas que acuden a dichas instalaciones por sus propiedades físicas y químicas sobre la salud humana. Ubicado en la parroquia de Alangasí con una extensión de al menos 2 hectáreas, zona ideal para realizar los respectivos vuelos y 6 piscinas que abastecen a su demanda de turismo.

Figura 26

Tercera área de estudio designada



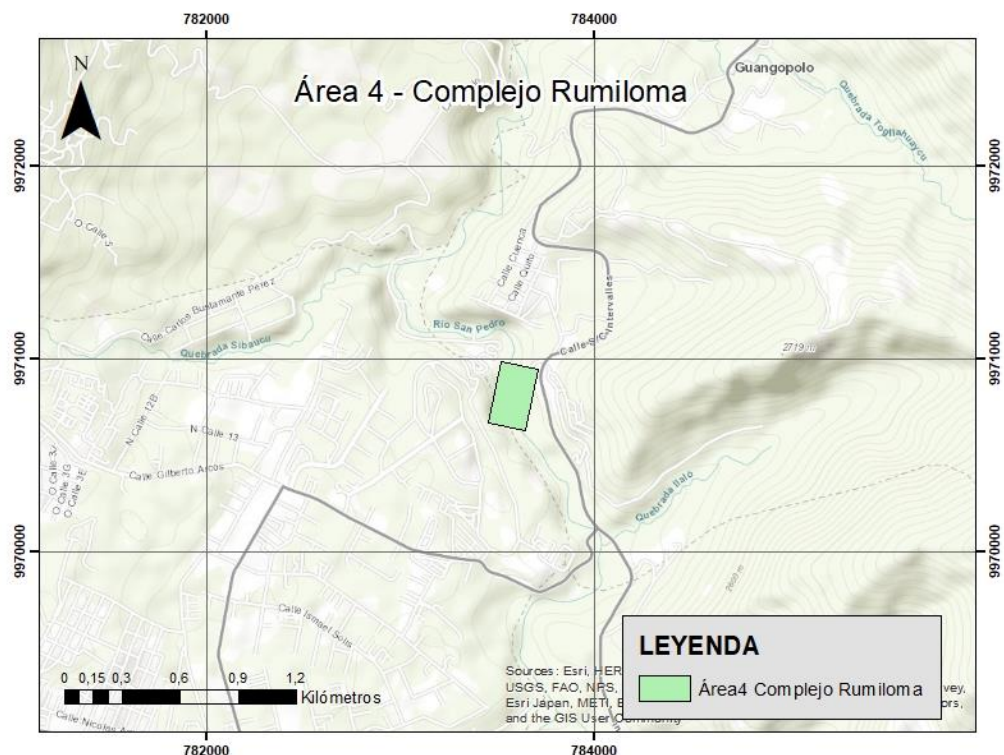
Nota: Imagen satelital topográfica de la tercera área de estudio determinada en el complejo turístico El Tingo. Elaborado por: (Noroña, 2020)

4.1.4. Cuarta Área de Investigación.

Finalmente, como cuarta área de estudio se designó al complejo de atracción turística Rumiloma, ubicado en la parroquia de Guangopolo al este de Quito; abarca una extensión de casi 5 hectáreas y dos puntos de piscinas termales. Luego de la remodelación que, realizado por el municipio, este complejo ha sido atractivo para el turismo debido a la presencia de sales y minerales dentro de sus aguas nacientes de las entrañas del cerro Ilaló.

Figura 27

Tercera área de estudio designada



Nota: Imagen satelital topográfica de la cuarta área de estudio determinada en el complejo turístico Rumiloma. Elaborado por: (Noroña, 2020)

4.2. Fases de Estudio.

4.2.1. Fase de Planificación.

Dentro de esta fase, se realizó un análisis concluyente sobre las áreas a las cuales se podía tener acceso ya que se tomó en cuenta de manera primordial la abundancia de vegetación, tipo de terreno, facilidad aérea, zona de partida y aterrizaje, entre otros factores clave para lograr realizar los respectivos levantamientos con el vehículo aéreo no tripulado. Se recolectó una amplia gama de bibliografía necesaria para reconocer los puntos y directrices necesarias para generar el plan de vuelo, toma de datos, muestreo e identificar los diferentes equipos, software, herramientas y elementos para el desarrollo del estudio.

4.2.2. Fase de Identificación.

En esta fase, se estableció una fecha en la cual se realizó el recorrido por todas

aquellas áreas las cuales se pretendía tomar en consideración, para realizar el reconocimiento de las mismas; verificar la procedencia de sus respectivas vertientes, que no se sean afectadas por factores externos de manera que se ajuste a la expectativa de estudio y el terreno a la posibilidad de vuelo con el vehículo drone.

4.2.3. Planificación de Vuelos.

Para esta siguiente fase dentro del estudio, se contó la con la presencia de los señores y señorita perteneciente a la institución del Cuerpo de Bomberos de Quito, quienes con las respectivas normas de seguridad prestaron su ayuda y conocimientos con el vehículo aéreo no tripulado, generando por medio del software DJI Pilot los respectivos planes de vuelo, en donde se determinaron los siguientes datos.

Tabla 14

Parámetros de vuelo para vehículo drone

ZONA DE ESTUDIO			PARÁMETROS			
Complejo	Piscina	Altura de vuelo (m)	Área (ha)	Traslape long.	Traslape trans.	GSD (cm)
Ilaló	Pisc.1		0,17			2,34
	Pisc.2	30	0,31	90	90	2,88
La Merced	Pisc.1	30	0,30	90	90	4,4
El Tingo	Pisc.1		0,06			2,11
	Pisc.2	30	0,09	90	90	2,35
	Pisc.3					
Rumiloma	Pisc.1	35	0,14	90	90	3,29

Nota: Tabla con datos respectivos sobre el plan de vuelo utilizado en el vehículo aéreo no tripulado, se trabajó con dos decimales. Elaborado por: (CuerpodeBomberosdelDMQ, 2020)

Se realizó un total de 3 levantamientos aéreos; el primero se tomó como muestra de prueba y errores sobre el procedimiento a seguir y los puntos en los cuales se realizaría la toma de datos y muestras *`in situ`*. Los siguientes dos vuelos se realizaron el primero en las áreas de los complejos turísticos de La Merced, Ilaló y Rumiloma, el segundo en los complejos de El Tingo e Ilaló.

4.3. Toma de Muestras.

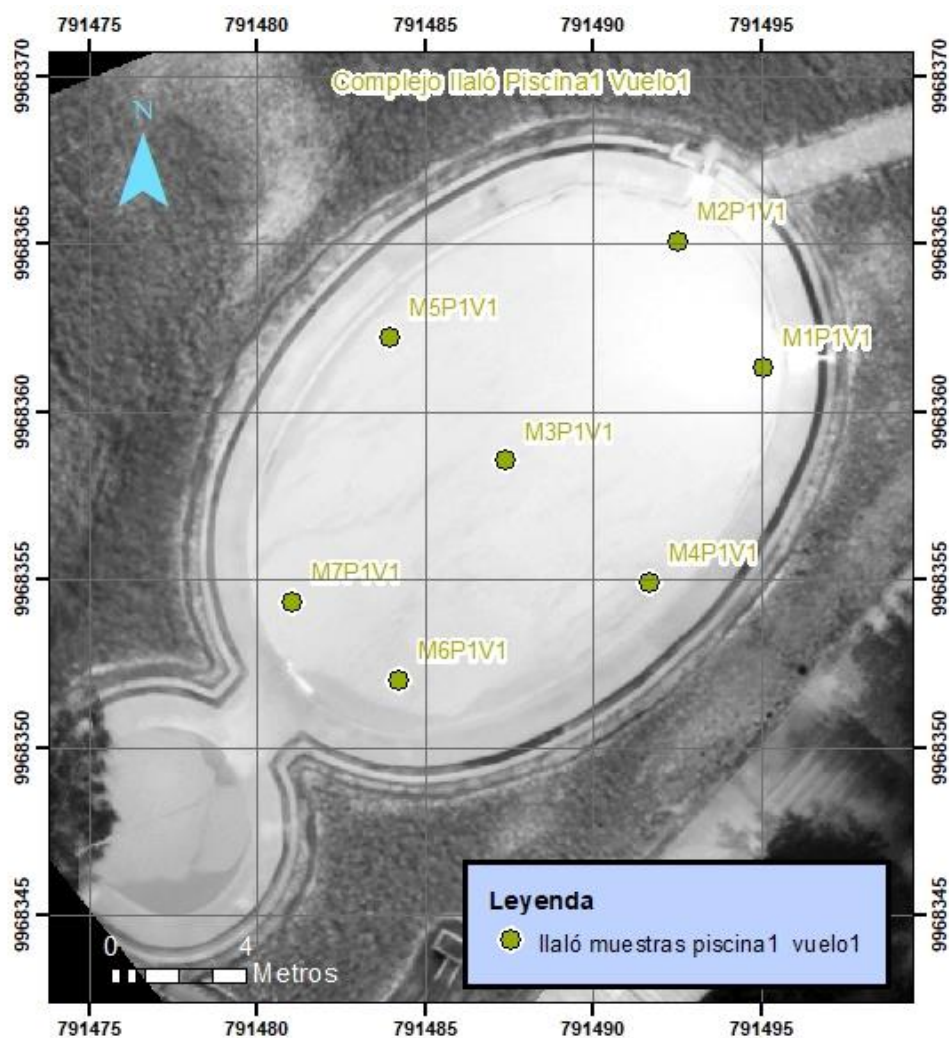
Para continuar con la toma de datos y recolección de las respectivas muestras para el análisis en el laboratorio; se realizó una subdivisión hipotética en cuadrantes que permitieron predecir los lugares óptimos ya que en algunas esquinas se encontraba la entrada de agua desde los pozos, además de abarcar mayor área de muestras en las piscinas, el número de puntos óptimo y muestras se tomó de acuerdo a las dimensiones de cada una de las piscinas. Además, se coordinó la toma de valores con la sonda multiparamétrica en el momento preciso en el que sobrevoló el dron.

4.3.1. Primer Muestreo y Levantamiento Aéreo.

4.3.1.1. Complejo Turístico Ilaló. Se acudió a la primera área como se propuso, la cual fue el complejo turístico Ilaló. Se identificaron siete puntos clave, denominados puntos [M] para la toma de datos con el sensor multiparamétrico y la recolección de las muestras. Ya que esta piscina tiene una forma física semejante a un óvalo, se localizaron 4 puntos en los extremos lo más simétrico posible M1, M2, M6, M7 respectivamente y en la mitad a los costados centrales M4, M5 y en la mitad de la piscina M3. Se realizó el vuelo para una de sus piscinas y se tomaron los valores *`in situ`* en coordinación con la toma aérea realizada con el dron.

Figura 28

Complejo Ilaló, Piscina 1 Vuelo 1

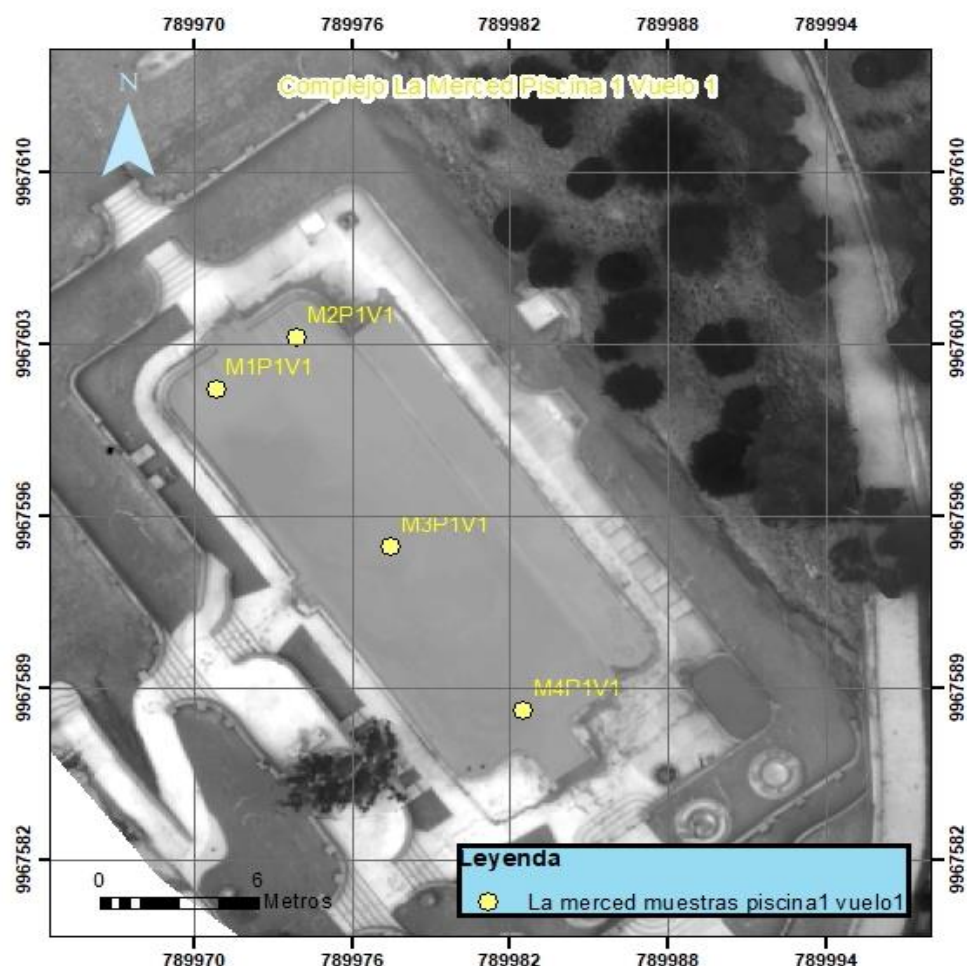


Nota: Imagen satelital tomada en el complejo Ilaló e identificación de los 7 puntos clave de los cuales se tomó los datos ``in situ`` y respectivas muestras. Piscina 1 vuelo 1. Elaborado por: (Noroña, 2020)

4.3.1.2. Complejo Turístico La Merced. Se realizó el primer vuelo dentro del complejo turístico La Merced en compañía de los señores y señorita representantes del Cuerpo de Bomberos de Quito. Se identificaron 4 puntos clave; 2 en los extremos de las esquinas de un extremo M1, M2, en el centro de la piscina M3 y el último en el centro del otro extremo M4 ya que en ese lugar se encontraba el ojo de entrada del agua desde el pozo.

Figura 29

Complejo Ilaló, Piscina 1 Vuelo 1

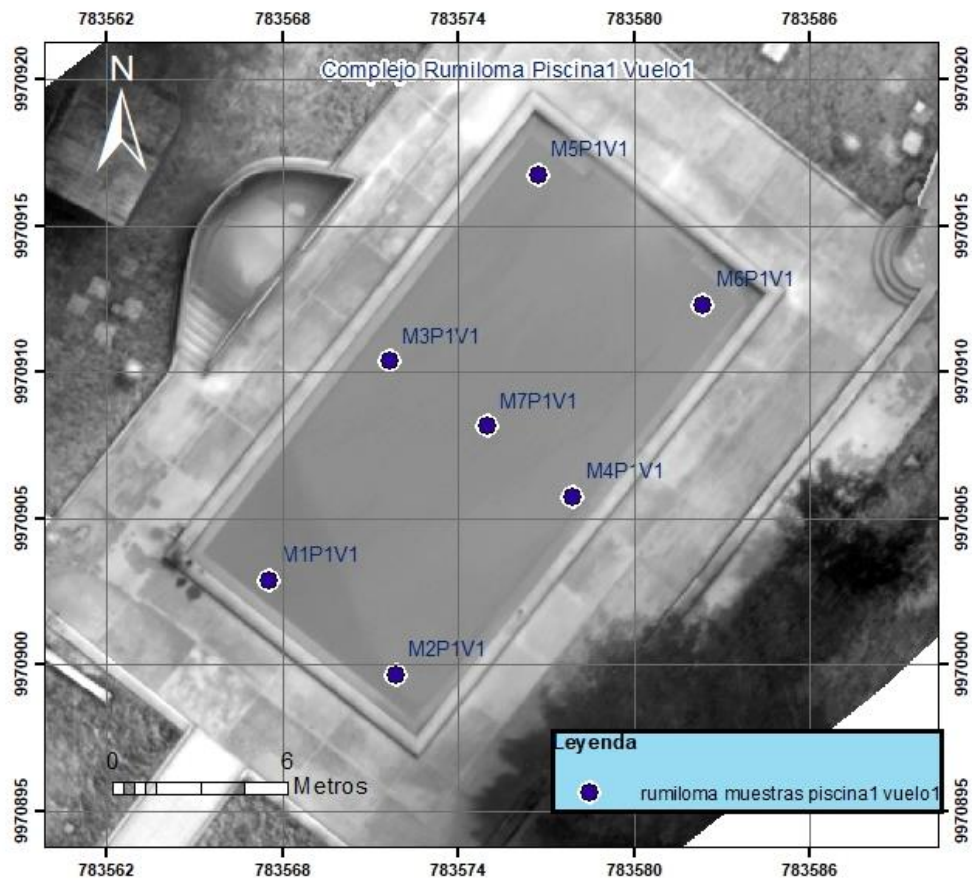


Nota: Imagen satelital tomada en el complejo La Merced e identificación de los 4 puntos clave de los cuales se tomó los datos ``in situ`` y respectivas muestras. Piscina 1 vuelo1. Elaborado por: (Noroña, 2020)

4.3.1.3. Complejo Turístico Rumiloma. Se culminó el día de levantamiento aéreo en el complejo turístico de Rumiloma, en donde se siguió la misma guía, ya que la piscina tenía una forma física de rectángulo el análisis para elegir los puntos fue más sencilla, entonces se identificaron 4 puntos de muestreo M1, M2, M5, M6 en cada extremo de las esquinas de la piscina, dos en la mitad a cada costado ·M3, M4 y uno en el centro de la piscina M7.

Figura 30

Complejo Rumiloma, Piscina 1 Vuelo 1



Nota: Imagen satelital tomada en el complejo Rumiloma e identificación de los 7 puntos clave de los cuales se tomó los datos ``in situ`` y respectivas muestras. Piscina 1 vuelo1. Elaborado por: (Noroña, 2020)

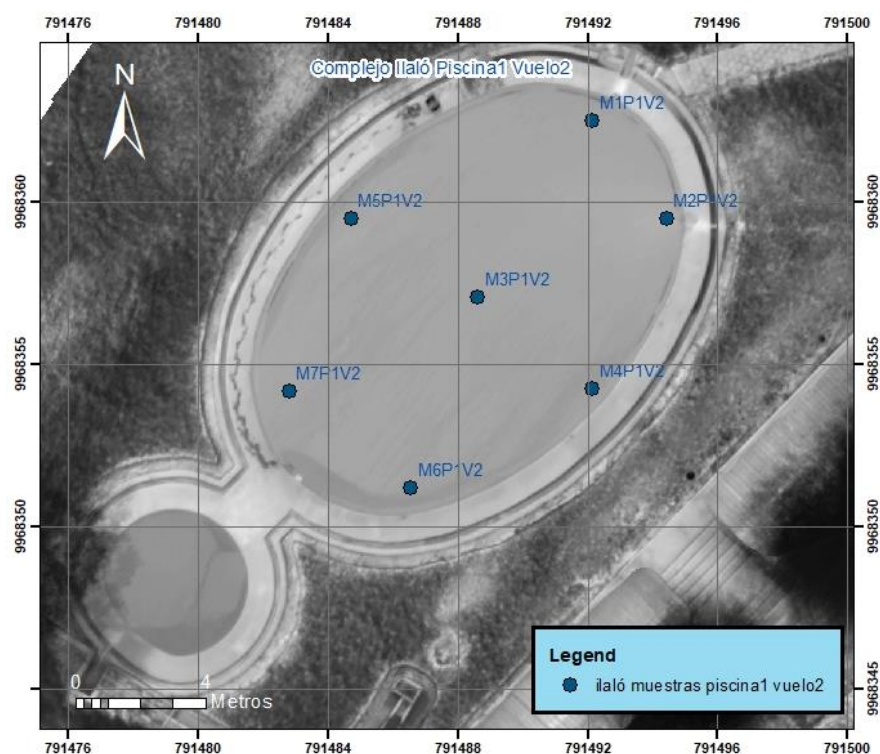
4.3.2. Segundo Muestreo y Levantamiento Aéreo.

4.3.2.1. Complejo turístico Ilaló.

4.3.2.1.1. Piscina 1. Claramente para lograr un análisis con menores rangos de error se requirió de un segundo vuelo planificado el cual nos permitió obtener más valores *in situ* y recolectar otro número de muestras. Se siguieron los mismos parámetros que se plantearon para el primer levantamiento; entonces se reconocieron 7 puntos clave, de los cuales 4 localizados en los extremos denominados M1, M2, M6, M7, dos puntos centrales a los costados de la piscina denominados M4, M5 y un punto céntrico de la piscina denominado M3. Los valores tomados con la sonda paramétrica se realizaron en coordinación con el sobrevuelo del dron.

Figura 31

Complejo Ilaló, Piscina 1 Vuelo 2

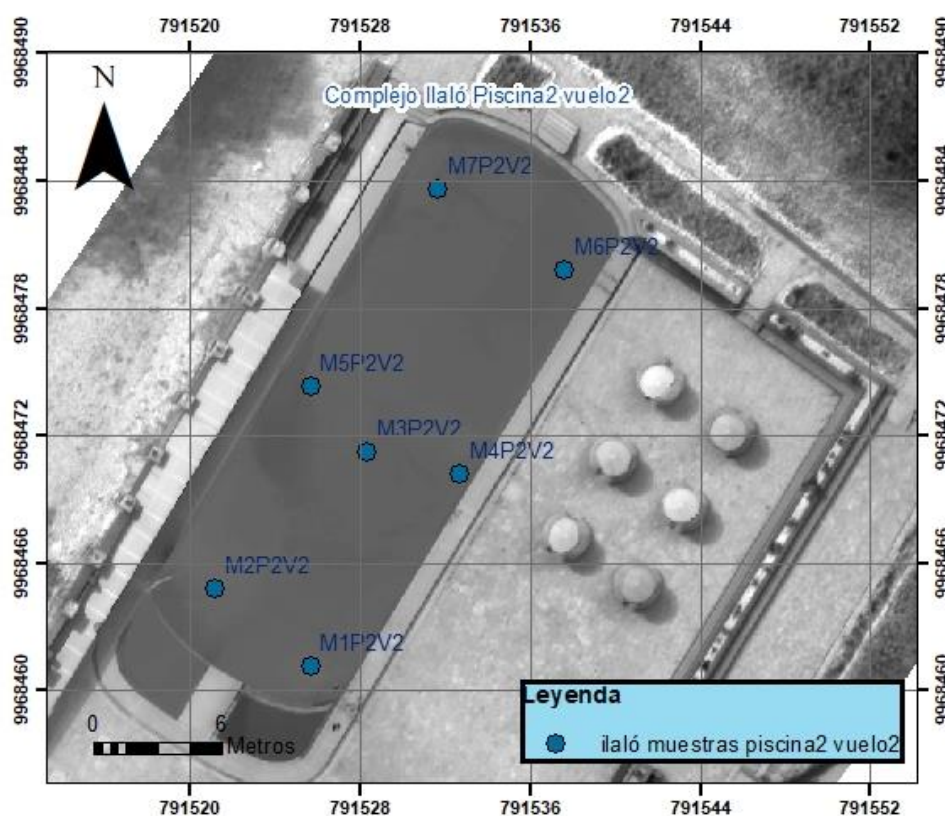


Nota: Imagen satelital tomada en el complejo Ilaló e identificación de los 7 puntos clave de los cuales se tomó los datos in situ y respectivas muestras. Piscina 1 vuelo2. Elaborado por: (Noroña, 2020)

4.3.2.1.2. Piscina 2. Asegurando el éxito del trabajo de investigación y en vista de la apertura por parte de los dueños del lugar para ingresar a realizar los levantamientos aéreos, se tomó en cuenta la segunda piscina dentro del complejo turístico Ilaló en la cual con la metodología planteada se identificó 7 puntos de muestreo, 4 ubicados en cada extremo de la piscina denominados M1, M2, M6, M7, puntos centrales a los costados denominados M4, M5 y un punto céntrico denominado M3. Parámetros ``in situ`` y recolección de muestras se realizaron a la par con el sobrevuelo del dron.

Figura 32

Complejo Ilaló, Piscina 2 Vuelo 2



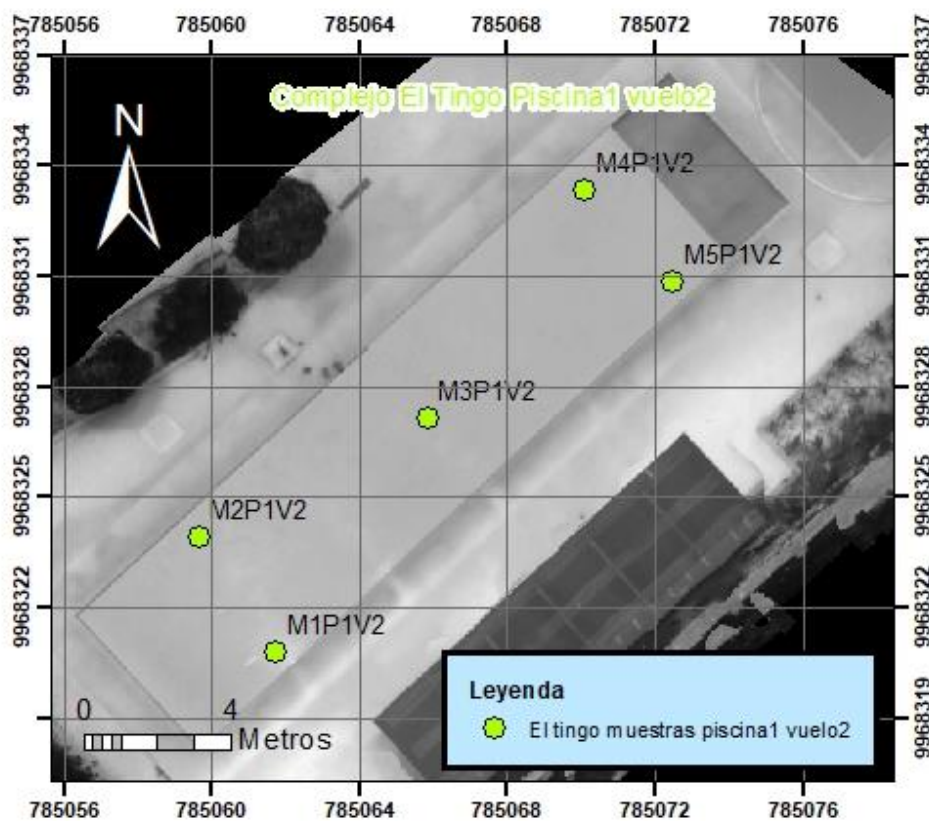
Nota: Imagen satelital tomada en el complejo Ilaló e identificación de los 7 puntos clave de los cuales se tomó los datos ``in situ`` y respectivas muestras. Piscina 2 vuelo2. Elaborado por: (Noroña, 2020)

4.3.2.2. Complejo Turístico El Tingo. Este es el centro turístico en donde se decidió realizar más toma de muestras ya que en primer lugar contaba con amplia distribución espacial de terreno el cual permitió realizar el vuelo con el dron de manera más eficaz, a la vez que se concedió por parte de los dueños del centro apertura para realizar el estudio.

4.3.2.2.1. Piscina 1. Continuando con el procedimiento, se identificaron los sitios puntuales óptimos para la medida de parámetros en coordinación con el sobre vuelo del vehículo dron. En dónde; se identificaron 5 puntos clave, esta conclusión se presenta en relación al perímetro disponible de la piscina, por lo cual los puntos situados en los extremos se encuentran un poco alejados de las orillas por la presencia de gradas dentro de la misma. De los 5 puntos los 4 se localizaron en las aproximaciones de los extremos denominados M1, M2, M4, M5 y un punto céntrico llamado M3.

Figura 33

Complejo El Tingo, Piscina1 Vuelo 2

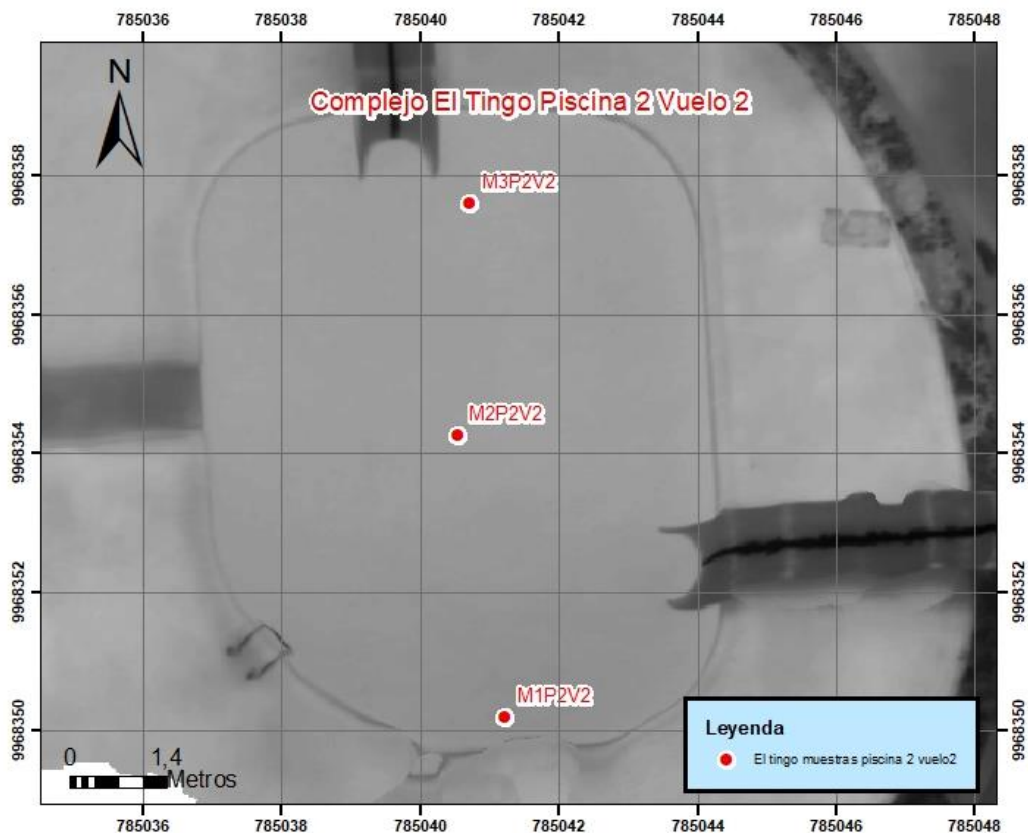


Nota: Imagen satelital tomada en el complejo El Tingo e identificación de los 5 puntos clave de los cuales se tomó los datos ``in situ`` y respectivas muestras. Piscina 1 vuelo2. Elaborado por: (Noroña, 2020)

4.3.2.2.2. Piscina 2. En las inmediaciones del complejo El Tingo se seleccionó el segundo lugar, sin embargo la estructura física de esta piscina cuenta con cierta peculiaridad, por lo que de acuerdo a sus dimensiones y área disponible se identificaron tres puntos principales para la toma de valores, muestras en coordinación con el sobrevuelo del dron. Estos puntos en los extremos medios de la piscina denominada M1, M3 y uno céntrico denominado M2.

Figura 34

Complejo El Tingo, Piscina2 Vuelo 2

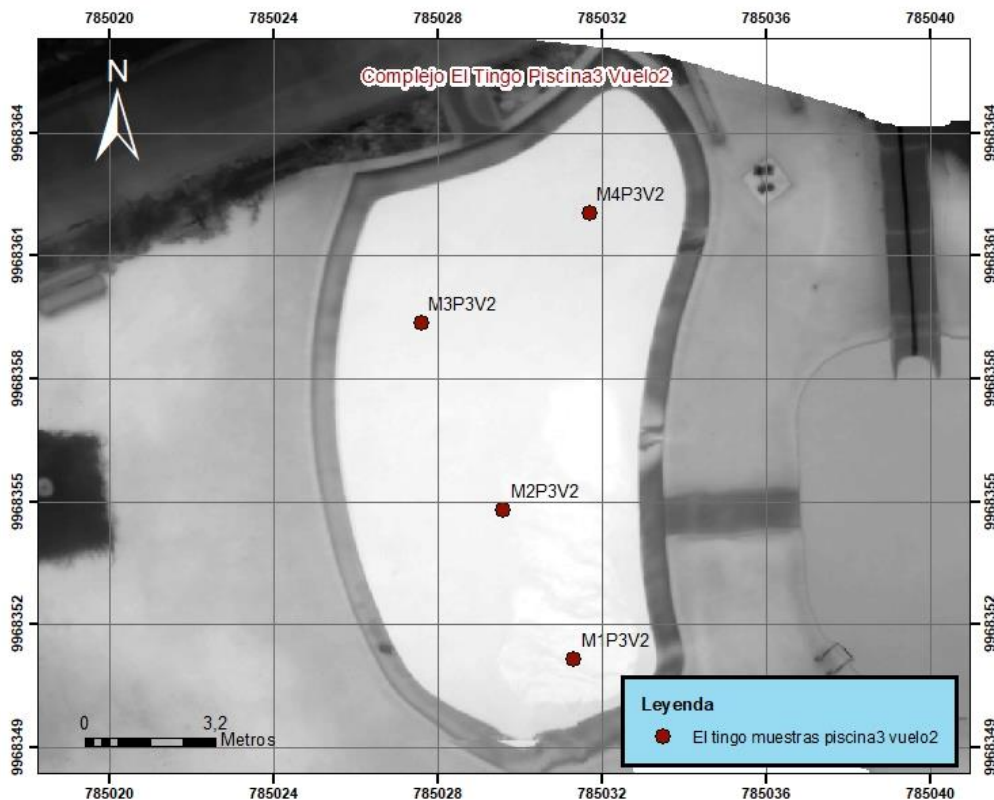


Nota: Imagen satelital tomada en el complejo El Tingo e identificación de los 5 puntos clave de los cuales se tomó los datos ``in situ`` y respectivas muestras. Piscina 2 vuelo2. Elaborado por: (Noruña, 2020)

4.3.2.2.3. Piscina 3. La última piscina destinada para estudio dentro del complejo El Tingo tiene una forma un poco más peculiar por lo tanto y de acuerdo a sus dimensiones y espacio disponible, se identificaron 4 puntos de muestreo y para la toma de parámetros en coordinación con el sobrevuelo del equipo drone. Se denominaron M1 a la primera muestra en el extremo, M2 a un cuarto de la piscina, M3 al siguiente cuarto de la piscina y M4 al otro extremo de la piscina.

Figura 35

Complejo El Tingo, Piscina3 Vuelo 2



Nota:

Imagen

satelital tomada en el complejo El Tingo e identificación de los 5 puntos clave de los cuales se tomó los datos ``in situ`` y respectivas muestras. Piscina 3 vuelo2. Elaborado por: (Noroña, 2020)

4.4. Análisis de Laboratorio.

4.4.1. Procesamiento de Datos.

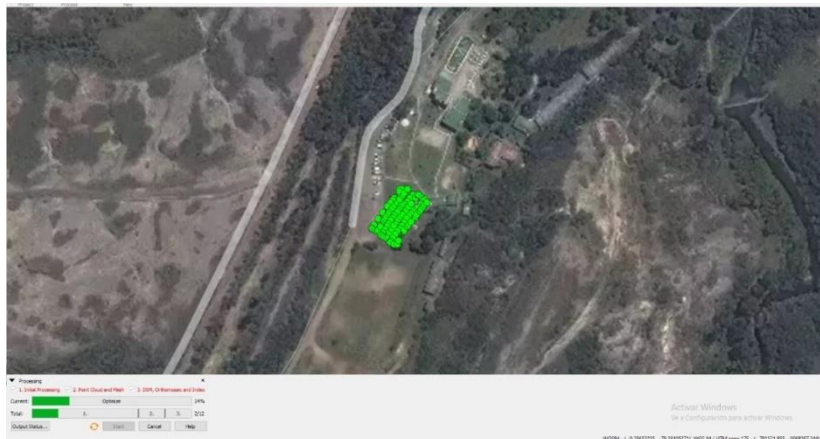
Una vez obtenidas las imágenes del levantamiento aéreo con el vehículo drone, se descargaron y se realizó la caracterización de imágenes térmicas e imágenes de formato normal; se lleva a cabo el procesamiento mediante la técnica descrita de fotometría, que permitió la extracción y correlación de los puntos en común entre las imágenes generadas. Una característica principal en la adquisición de las imágenes con sistemas ultravioleta, es la vinculación que se genera con los valores de posición y orientación registrados con los sistemas de georreferencia espacial GPS.

4.4.1.1. Formación de Modelo Raster.

4.4.1.1.1. *Traslape de áreas.* Para la formación de un mosaico se debe considerar que el conjunto de imágenes que han sido tomadas desde una o varias cámaras de acuerdo al análisis requerido, presentan diferentes áreas de traslape entre sí, las cuales serán unidas y se combinarán para permitir ampliar el rango de visión de la escena y generar un espectro completo de visión. (Cheng Y Li, 2007)

Figura 36

Formación de traslape de puntos



Nota: Imagen de formación de puntos de traslape en el terreno generada en el programa Pix4D. Elaborado por: (Noroña, 2020)

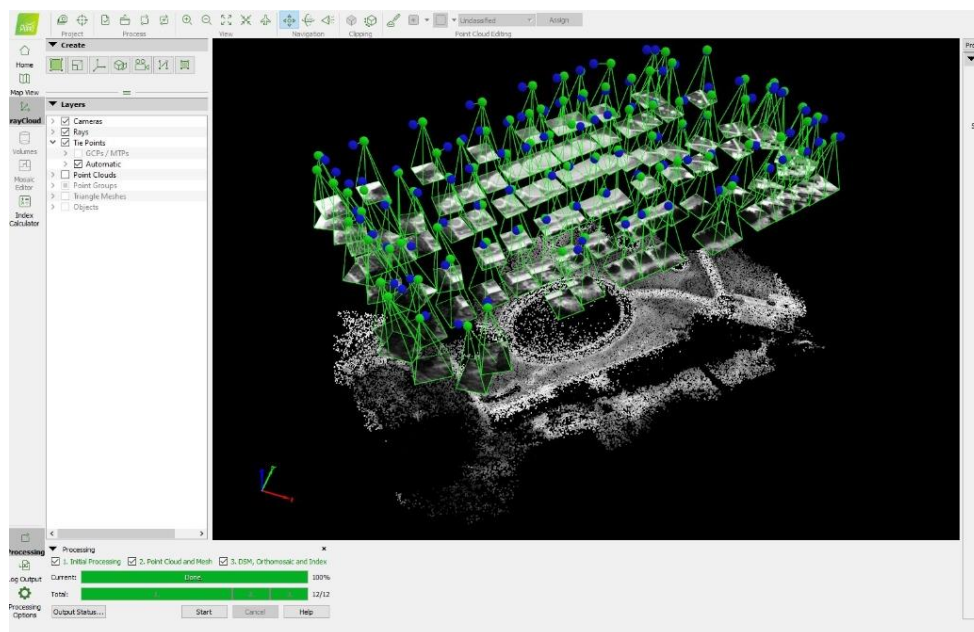
4.4.1.1.2. *Obtención de Nube de Puntos.* De acuerdo al espacio o terreno en el cual se realiza la toma de imágenes, a la presencia de relieves o causas, el mosaico formado debe ser corregido para evitar que este tipo de obstáculos generen cambios no deseados en la formación del ortomosaico.

Entonces, una vez realizada la configuración del bloque fotogramétrico se procedió con la reconstrucción 3D de la escena completa a partir de la generación de una nube de puntos, en este punto se determinaron las coordenadas del terreno mediante cada uno de los puntos extraídos de las imágenes, para posteriormente determinar las coordenadas del

terreno para cada pixel de las imágenes.

Figura 37

Nube de punto en 3D

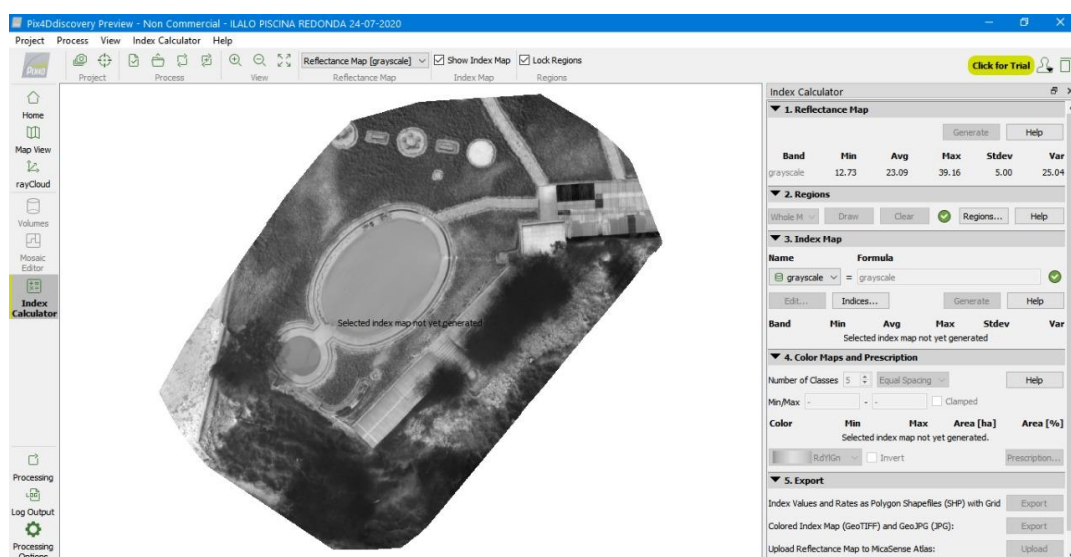


Nota: Imagen de puntos de nube en 3D generada en el programa Pix4D. Elaborado por: (Noroña, 2020)

4.4.1.1.3. Obtención de Ortomosaico. Finalmente se generó el modelo digital de superficie u ortomosaico, a partir de la transformación de la información de píxeles a un medio de salida digital, llamado proceso de rasterización de la nube de puntos y mediante la ortorrectificación de las imágenes, es decir la eliminación de diferentes distorsiones generadas en las imágenes.

Figura 38

Ortomosaico térmico



Nota: Imagen completa del ortomosaico térmico generado en el programa Pix4D. Elaborado por: (Noroña, 2020)

4.4.1.2. Asignación de Valor por Pixel. Una vez obtenido el modelo Raster en el software Pix4D el cual se obtiene en formato .tif; se exportó a ArcMap en donde nos permitió generar un shapefile en puntos de la imagen; esto se realizó para asignar un valor de color por cada punto o pixel que se visualizó en el diseño del mapa para imprimir o publicar.

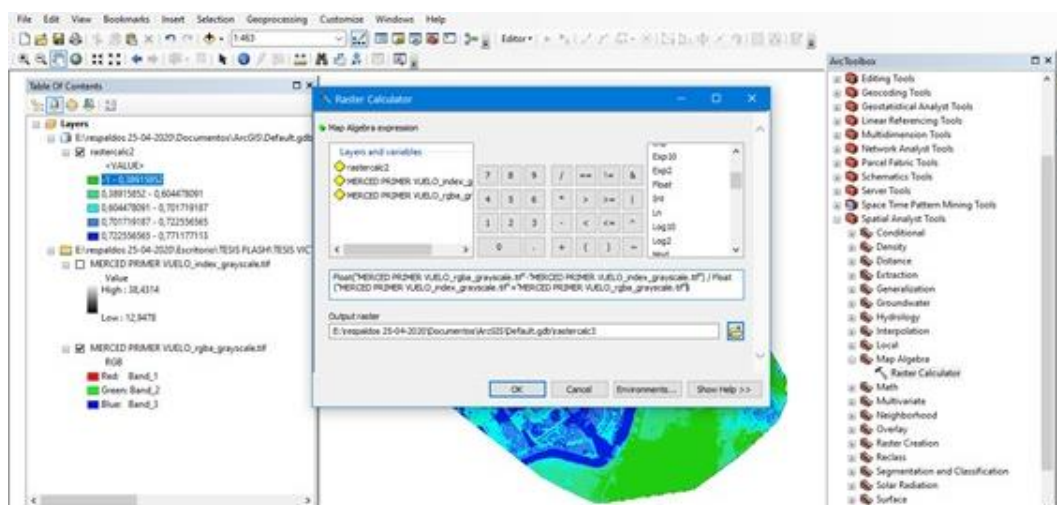
4.4.2. Cálculo de NDWI.

El Índice Diferencial de Agua Normalizado, permite reflejar el contenido de agua o humedad en plantas o suelos; se utiliza el infrarrojo de onda corta que muestra la absorción de luz debido a la presencia de agua. Su tipo de rango UV se distingue en azul en altos rangos de NDWI por su alto contenido de agua. No tiene dimensiones y varían en rango de -1 a +1.

(Earth Observing System, 2020)

Figura 39

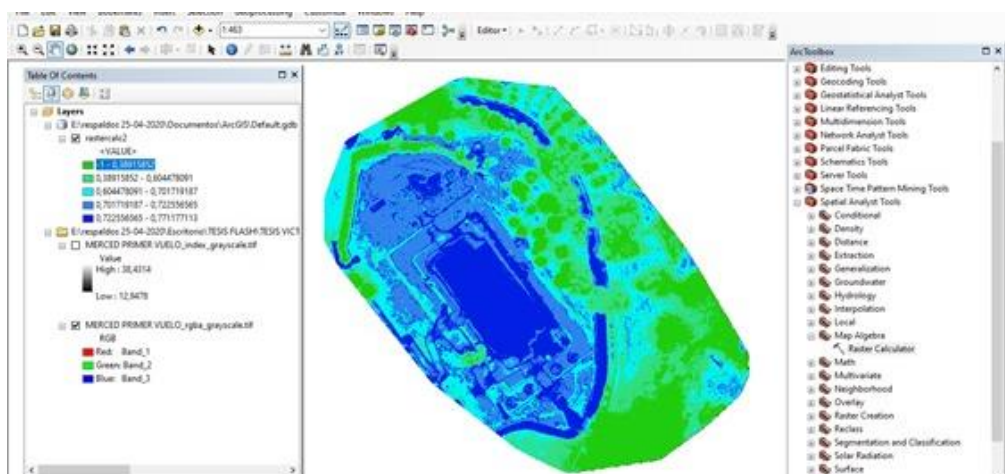
Índice Diferencial de Agua Normalizado



Nota: Cálculo para la obtención del Índice de agua NDWI. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Figura 40

Raster del índice NDWI



Nota: Raster del Índice de agua NDWI. Elaborado por: (Noroña, 2020)

4.4.3. Determinación de Fosfatos

Para obtener la concentración de fosfatos en las muestras de agua termal recogidas en las distintas áreas de estudio. Se realizó el proceso de fotometría de las mismas en el laboratorio.

4.4.3.1. Procedimiento de Laboratorio.

MATERIALES

- 2 vasos de precipitación
- 1 pipeta
- 1 pera
- Tijera
- Piceta

EQUIPOS

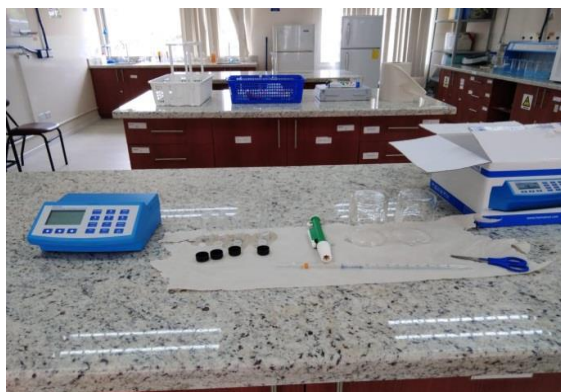
- Fotómetro
- Viales
- Muestras

REACTIVOS

- Agua destilada
- Kit de fosfato Hanna

Figura 41

Materiales de Laboratorio



Nota: Imagen tomada de los materiales utilizados dentro del laboratorio para el proceso de determinación de la concentración de fosfatos. Elaborado por: (Noroña, 2020)

4.4.3.2. Preparación de Muestras. Para preparar las muestras, se procedió organizando el espacio destinado dentro del laboratorio separando por áreas cada grupo de muestras.

Con el uso de la pipeta y la pera se procedió a agitar los viales con agua destilada, este proceso se realizó de dos a tres veces para asegurar que dentro de los materiales no se encuentren sustancias o partículas que generen alteración o error de datos; el agua sobrante se depositó en el vaso de precipitación.

Figura 42

Organización de muestras



Nota: Imagen tomada de la organización de las muestras por área de estudio. Elaborado por: (Noroña, 2020)

4.4.3.3. Procedimiento. En total se obtuvieron 44 muestras, en el complejo El Tingo se recolectaron 12 muestras; La Merced 4 muestras; Ilaló 21 y en Rumiloma 7 muestras. Para las cuales se generaron un total de 264 datos tomando en cuenta valores de pH. Temperatura toma desde el drone, presencia de oxígeno, conductividad y la determinación de presencia de fosfatos.

- Una vez realizado el proceso de limpieza de los viales, se colocó una cantidad considerable de muestra en el material.

- Se introdujo en el equipo fotómetro y se seleccionó el método fosfato LR.
- Se agito la cubeta varias veces con la muestra no reaccionada.
- Se llenó el vial con 10 ml de muestra para colocarla en el equipo, cerrarlo y presionar la tecla Zero, en donde inmediatamente la pantalla mostró el indicador en -0.0-; es decir el equipo está listo para usar. Este procedimiento se realizó para configurar el equipo con la muestra no reaccionada.
- Se extrajo la muestra para adicionar el reactivo (Kit Hanna) en este caso sulfato de potasio.
- Se agitó la muestra alrededor de 2 minutos, hasta homogenizarla.
- Se colocó nuevamente en el equipo fotómetro y automáticamente el equipo muestra un tiempo de espera de 3 minutos. Al cabo de este tiempo aparece el resultado de concentración de fosfato que presenta en la muestra.

Figura 43

Enjuague del vial



Nota: Imagen tomada del enjuague del vial con agua destilada, para asegurar que no exista residuos ni partículas externas. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Figura 44

Equipo encendido



Nota: Imagen tomada del equipo fotómetro encendido, con parte de la muestra no reaccionada en su interior.

Elaborado por: (Noroña, 2020)

Figura 45

Adición del reactivo



Nota: Imagen tomada de la adición del reactivo Kit de Fosfato de Hanna. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Figura 46

Agitación de la muestra con el reactivo



Nota: Imagen tomada de la agitación realizada por alrededor de 2 minutos a la muestra reaccionando al reactivo. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Figura 47

Muestra reaccionada al reactivo



Nota: Imagen tomada con la reacción al reactivo y presentando el color azulado característico. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Figura 48

Resultado de la concentración de fosfato en la muestra



Nota: Imagen tomada del resultado de la concertación de fosfato con la muestra reaccionada en su interior.

Elaborado por: (Noroña, 2020)

4.5. Diseño del Modelo.

Para realizar el diseño del modelo para el caso de investigación se realizó una subdivisión en la cual se tomó en consideración los datos del áreas de estudio del complejo Ilaló como Grupo A por el motivo de que en sus instalaciones se obtuvo mayor apertura para realizar un total de dos levantamientos aéreos, por lo tanto mayor recopilación de datos para la obtención de parámetros requeridos; los datos de las áreas de los complejos turísticos de La Merced, El Tingo y Rumiloma como Grupo B y la conformación total de las cuatro áreas como Grupo C. Se tomaron como datos los parámetros de valor de pH, conductividad eléctrica, cantidad de oxígeno disuelto, temperatura, los cuales se obtuvieron mediante un análisis ``in situ`` en las áreas destinadas para la investigación ubicadas en los alrededores del Volcán Ilaló en la provincia de Pichincha, cantón Quito; realizados en los meses de junio y julio del 2020. Mediante la aplicación de tecnología de teledetección se obtuvo información para el cálculo de los diferentes índices en los programas de Pix4D y ArcGis.

4.5.1. Planteamiento de la Hipótesis.

De manera general se plantearon dos hipótesis para los modelos obtenidos en la investigación, los cuales permitirán determinar la validez y confiabilidad de cada modelo, así como la correlación que generan los datos obtenidos de acuerdo al cálculo respectivo de los parámetros considerados.

Hipótesis Nula (Ho): La variación de concentración de fosfatos de acuerdo a la incidencia de temperatura no se puede estimar mediante el uso de la técnica de teledetección.

Hipótesis Alternativa (Ha): La variación de concentración de fosfatos de acuerdo a la incidencia de temperatura se puede estimar mediante el uso de la técnica de teledetección.

4.5.2. Modelo de Regresión Lineal.

Considerando los indicadores generados durante el proceso de análisis de datos, la aplicación de una variable dependiente en correlación del conjunto de variables explicativas y el coeficiente de relación de Pearson obtenidos en donde, las variables se encuentran relacionadas linealmente se escogió el método más eficaz para estimación y predicción de parámetros que en este caso es el modelo de regresión lineal simple que nos permite determinar el impacto sobre la variable dependiente ante un cambio en las variables explicativas.

4.5.2.1. Aplicación de la Correlación de Datos. Mediante el uso del software

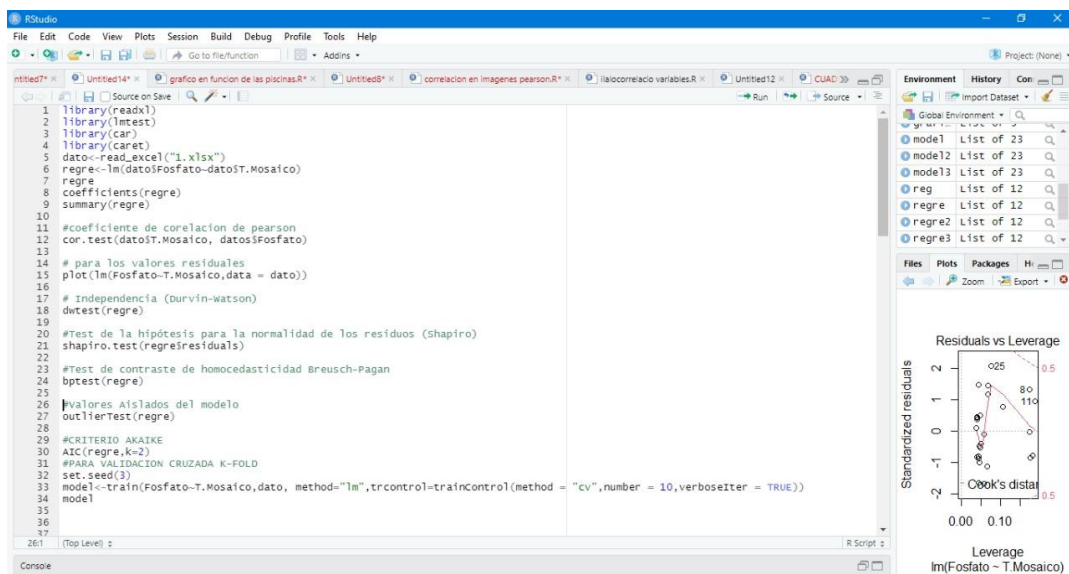
R Studio se verificó la correlación lineal existente ente la variable dependiente que es este caso se toma el fosfato y la variable explicativa o independiente considerando la temperatura.

4.5.2.2. Ejecución del Modelo de Regresión Lineal. Considerando los

indicadores generados durante el proceso de análisis de datos, la aplicación de una variable dependiente en correlación del conjunto de variables explicativas y el coeficiente de relación de Pearson que nos representa una correlación lineal, se optó por el método del modelo de regresión lineal.

Figura 49

Programación para la ejecución del MRL



Nota: Fragmento de programación para la ejecución del MRL. Elaborado por: (Noroña, 2020)

4.5.2.3. Prueba de Durbin Watson. El empleo de esta prueba nos permitió conocer la dependencia y conexiones existentes entre el tipo de variables que se generaron para el análisis de la investigación. Es decir, el grado de correlación lineal presentes.

4.5.2.4. Prueba Shapiro Wilk. Se realizó esta prueba en primera instancia por el número de muestras obtenidas que en este caso son menores a 50. Con el objetivo de verificar que la muestra tiene una distribución normal

4.5.2.5. Prueba de Contraste Breusch-Pagan.

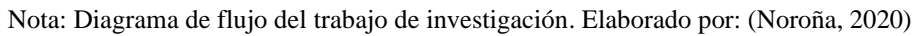
Permite determinar que las perturbaciones del modelo tengan igual varianza, conocido como heterocedastidad.

4.5.2.6. Predicción del Modelo. De acuerdo a los parámetros planteados para el análisis del estudio se realizó la predicción del modelo bajo las condiciones de los comandos ggplot y geom_point, generando bandas de confianza y el grafico de dispersión para los tres grupos respectivamente.

4.5.2.7. Criterio de Información Akaike. Permite proporcionar un medio para la comparación entre modelos y de acuerdo al valor de AIC escoger el modelo más apto. El modelo que obtenga el mínimo ACI será el adecuado.

4.5.2.8. Validación Cruzada K-Fold. Este tipo de validación nos permite comprobar el rendimiento del modelo escogido, dividiendo la muestra en submuestras de manera que se utiliza la una para evaluar el modelo y la otra para ajustarlo. Es útil para comparar los resultados de distintos procedimientos de clasificación y determinar cuál sería el más preciso.

Diagrama del Proceso de Investigación



Nota: Diagrama de flujo del trabajo de investigación. Elaborado por: (Noroña, 2020)

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los meses de junio y julio del año 2020, se realizó el proyecto de investigación titulado `` Estimación de Fosfatos en cuerpos de agua mediante Drones en la Provincia de Pichincha´´. Se tomó como zona de estudio las vertientes que genera el Volcán inactivo Ilaló; del cual por reconocimiento espacial se determinaron cuatro áreas correspondientes a los complejos turísticos más habituales, los cuales hacen uso del medio hídrico como fuente de desarrollo económico y medicinal. Dentro de cada área se consideraron puntos estratégicos para la recolección de parámetros ``*in situ*``, tales como: valor de pH, conductividad eléctrica, presencia de oxígeno, temperatura. Proceso que se realizó en coordinación con el uso de tecnología de teledetección, en este caso empleo de un vehículo aéreo no tripulado.

5.1. Resultados de Campo y Laboratorio.

5.1.1. Parámetros de Calidad de Agua ``*in situ*``

Para realizar el análisis adecuado de los parámetros, se consideró una subdivisión dentro de las áreas correspondientes, para lo cual se determinó el área con los datos del complejo turístico Ilaló como Grupo A, los valores de los complejos turísticos de El Tingo, La Merced y Rumiloma como Grupo B y el conjunto de áreas Grupo C. A continuación, se presentan los valores de calidad del agua obtenidos ``*in situ*`` para cada uno del grupo.

Tabla 15

Valores de calidad de agua en campo Grupo A

Punto	Piscina	Temperatura IN SITU (°C)	Ph	conductividad (mg/L)	Oxígeno disuelto %
m1p1v1	Ilaló 1	31,8	7,9	551	95
m2p1v1	Ilaló 1	34,5	7,94	546	90,5
m3p1v1	Ilaló 1	33,4	7,77	552	91,7
m4p1v1	Ilaló 1	32,03	7,83	549	94,2
m5p1v1	Ilaló 1	31,5	7,87	553	98,9
m6p1v1	Ilaló 1	30,8	7,89	553	97,9
m7p1v1	Ilaló 1	30,1	7,84	553	97,8
m1p1v2	Ilaló 1	33	7,84	597	96,8
m2p1v2	Ilaló 1	30,3	7,79	594	93,9
m3p1v2	Ilaló 1	29,8	7,94	590	95,7
m4p1v2	Ilaló 1	29,8	7,96	590	95,8
m5p1v2	Ilaló 1	30,1	7,96	601	94,5
m6p1v2	Ilaló 1	31,5	7,96	597	94
m7p1v2	Ilaló 1	30,3	7,95	598	93,3
m1p2v2	Ilaló 2	20,6	7,69	597	93,4
m2p2v2	Ilaló 2	29,2	6,98	589	91
m3p2v2	Ilaló 2	27,9	7,9	596	95,6
m4p2v2	Ilaló 2	28,5	7,91	596	98,8
m5p2v2	Ilaló 2	28,3	7,91	600	96,5
m6p2v2	Ilaló 2	34,3	7,94	595	97,9
m7p2v2	Ilaló 2	30,9	7,93	597	97,9

Nota: Valores de calidad del agua tomados en campo del Grupo A, es decir del complejo Ilaló, se trabajó con datos estableciendo dos cifras significativas. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Tabla 16

Valores de calidad del agua en campo Grupo B

Punto	Piscina	Temperatura IN SITU (°C)	Ph	conductividad (mg/L)	Oxígeno disuelto %
m1p1v1	Merced 1	32,2	7,53	356	83,1
m2p1v1	Merced 1	32,1	7,54	360	84,3
m3p1v1	Merced 1	28,8	7,71	365	90,4
m4p1v1	Merced 1	31,9	7,52	362	85,2
m1v2	Rumiloma 1	28,6	8,42	353	86,8
m2v2	Rumiloma 1	27,9	8,46	333	84,9
m3v2	Rumiloma 1	24,6	8,65	327	89,6
m4v2	Rumiloma 1	24,8	8,49	331	87
m5v2	Rumiloma 1	24,8	8,51	329	85,9
m6v2	Rumiloma 1	25,1	8,56	332	84,4
m7v2	Rumiloma 1	25,1	8,55	333	89,8
m1p1v3	Tingo 1	31,4	7,61	921	62
m2p1v3	Tingo 1	31	7,85	830	67,3
m3p1v3	Tingo 1	30,9	7,86	842	63,7
m4p1v3	Tingo 1	32,1	7,85	843	66,1
m5p1v3	Tingo 1	30,9	7,89	830	68,2
m1p2v3	Tingo 2	32,1	8,58	957	97,9
m2p2v3	Tingo 2	30,9	8,63	954	96,1
m3p2v3	Tingo 2	30,6	8,63	954	95,7
m1p3v3	Tingo 3	34	8,31	989	97,9
m2p3v3	Tingo 3	32,6	8,33	998	96,2
m3p3v3	Tingo 3	32	8,38	998	95,9
m4p3v3	Tingo 3	31,7	8,38	990	94,5

Nota: Valores de calidad del agua tomados en campo del Grupo B, es decir de los complejos de El Tingo, La Merced y Rumiloma; se trabajó estableciendo el valor de dos cifras significativas. Elaborado por: (Noroña, 2020)

5.1.2. Valores de Fosfato Obtenidos en Laboratorio.

Dentro del respectivo análisis de laboratorio se determinó la presencia de fosfato dentro de las muestras recolectadas en los puntos específicos de las áreas de estudio; realizando la prueba de laboratorio por colorimetría mediante el uso del fotómetro Hanna, este test se generó dos veces para cada muestra, es decir un total de 88 repeticiones del procedimiento asegurando así no tomar datos erróneos.

Se procedió con el mismo método de subgrupos; se obtuvieron datos para los Grupos

A y B sobre las concentraciones de los fosfatos y la temperatura tomada con el vehículo aéreo no tripulado.

Tabla 17

Presencia de fosfato en las muestras del Grupo A

Punto	Piscina	Temperatura-Drone (°C)	Fosfato (mg/L)
m1p1v1	Ilaló 1	29,03	0,74
m2p1v1	Ilaló 1	28,62	0,95
m3p1v1	Ilaló 1	28,94	0,81
m4p1v1	Ilaló 1	27,18	0,8
m5p1v1	Ilaló 1	27,79	0,79
m6p1v1	Ilaló 1	27,32	0,92
m7p1v1	Ilaló 1	28,16	0,93
m1p1v2	Ilaló 1	28,37	0,87
m2p1v2	Ilaló 1	29,46	0,84
m3p1v2	Ilaló 1	28,45	0,95
m4p1v2	Ilaló 1	28,24	0,85
m5p1v2	Ilaló 1	28,54	0,93
m6p1v2	Ilaló 1	27,47	0,97
m7p1v2	Ilaló 1	28,62	0,99
m1p2v2	Ilaló 2	30,30	0,95
m2p2v2	Ilaló 2	30,33	1,05
m3p2v2	Ilaló 2	29,58	0,98
m4p2v2	Ilaló 2	29,69	0,92
m5p2v2	Ilaló 2	28,95	0,85
m6p2v2	Ilaló 2	29,59	0,84
m7p2v2	Ilaló 2	30,13	0,82

Nota: Valores fosfato y temperatura del agua tomada en el laboratorio del Grupo A, es decir del complejo Ilaló, se trabajó estableciendo el valor de dos cifras significativas. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Tabla 18

Presencia de fosfatos en las muestras del Grupo B

Punto	Piscina	Temperatura-Drone (°C)	Fosfato (mg/L)
m1p1v1	Merced 1	28,27	1,1
m2p1v1	Merced 1	28,19	0,9
m3p1v1	Merced 1	27,33	0,97
m4p1v1	Merced 1	26,8	0,95
m1v2	Rumiloma 1	17,36	1,09
m2v2	Rumiloma 1	18,07	0,99
m3v2	Rumiloma 1	18,11	0,8
m4v2	Rumiloma 1	18,36	0,88
m5v2	Rumiloma 1	18,30	0,8
m6v2	Rumiloma 1	18,32	0,83
m7v2	Rumiloma 1	17,90	0,86
m1p1v3	Tingo 1	29,02	0,96
m2p1v3	Tingo 1	27,25	0,97
m3p1v3	Tingo 1	26,80	1,14
m4p1v3	Tingo 1	26,82	1,03
m5p1v3	Tingo 1	26,58	1,08
m1p2v3	Tingo 2	23,94	1,03
m2p2v3	Tingo 2	24,97	0,89
m3p2v3	Tingo 2	25,03	0,98
m1p3v3	Tingo 3	32,32	1,05
m2p3v3	Tingo 3	31,94	0,92
m3p3v3	Tingo 3	30,82	1,08
m4p3v3	Tingo 3	30,39	1,04

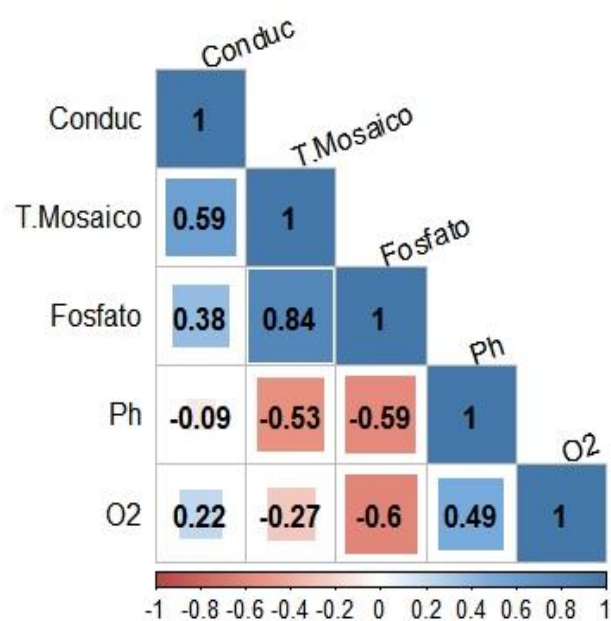
Nota: Valores de fosfato y temperatura del agua tomada en el laboratorio del Grupo B, es decir de los complejos de El Tingo, La Merced y Rumiloma, se trabajó con el valor de dos cifras significativas. Elaborado por: (Noroña, 2020)

5.2. Análisis de Correlación

Para generar el análisis de correlación se emplearon cinco parámetros recolectados tanto a nivel de campo como mediante cálculos en el laboratorio para la formación del ortomosaico.

Figura 51

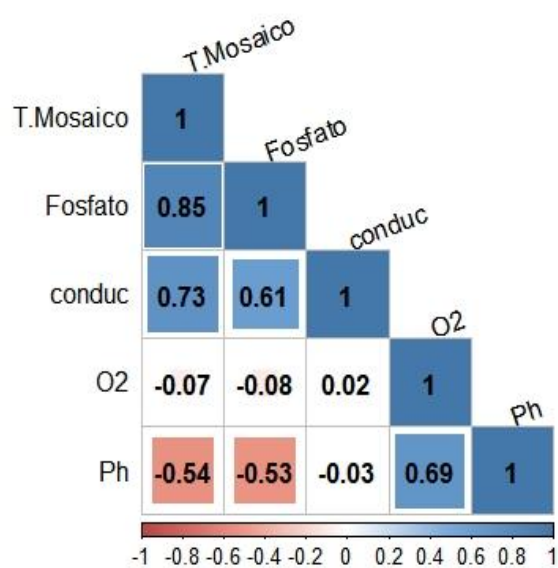
Correlación existente entre las variables del Grupo A



Nota: Correlación presente entre las variables dentro Grupo A. Se trabajó con el valor de dos cifras significativas. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Figura 52

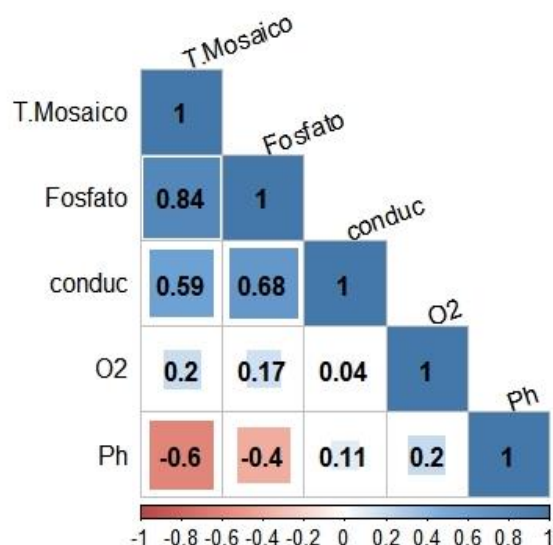
Correlación entre variables del Grupo B



Nota: Correlación presente entre las variables dentro Grupo B. Se trabajó con el valor de dos cifras significativas. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Figura 53

Correlación entre variables en Grupo C



Nota: Correlación presente entre las variables dentro Grupo C. Se trabajó con el valor de dos cifras significativas. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Las gráficas presentadas nos permiten observar cuales son las variables que conllevan una correlación más apropiada y poder descartar el resto de variables menos óptimas para el tema de investigación. De manera que, el valor entre fosfato y temperatura es el de mayor relación y es el dato que se busca para realizar los correspondientes cálculos. Además, se obtuvo la relación de Pearson, el cual nos permitió obtener el análisis pertinente de modelo de regresión lineal.

5.3. Variables Empleadas para el Modelo.

Para generar el análisis de correlación se emplearon cinco parámetros recolectados tanto a nivel de campo como mediante cálculos en el laboratorio para la formación del ortomosaico.

Tabla 19*Variables para los modelos*

Modelos simulados	Variable Dependiente	Variable Independiente
A	Fosfato	Temperatura
B	Fosfato	Temperatura
C	Fosfato	Temperatura

*Nota: Tabla de las variables utilizadas en los métodos del Grupo A, Grupo B, Grupo C. Elaborado por:**(Noroña, 2020)***5.4. MLR para la Estimación de Concentración de Fosfato.**

Se realizó un total de tres modelos de regresión lineal correspondientes a la subdivisión por grupos A, B y C, utilizando las variables dependiente e independiente descritas en la

Tabla 19.

Tabla 20*Determinación de concentración de fosfatos*

Datos	Var. Indep	Coeficientes de Importancia			
				Pr(> t)	Pr(> t)
		β_0	β_1	β_0	β_1
A (Ilaló)	T. mosaico	-1,00	0,07	0,0389	0,001
B (La Merced, El Tingo y Rumiloma)	T. mosaico	0,53	0,02	1,59e-06	1,27e-05
C (Todas)	T. mosaico	0,58	0,01	1,08e-11	9,02e-08

Nota: Tabla de los valores de importancia para la determinación de concentración de fosfatos en los Grupos A, B, C. Se trabajó con valores de dos cifras significativas. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Tabla 21*Bondad y ajuste del MRL para fosfatos*

Datos	Variable Independiente	Bondad de ajuste del MRL			
		RSE	R^2	R^2 ajustado	p-value
Grupo A	T. mosaico	0,04	0,70	0,67	0.0012
Grupo B	T. mosaico	0,05	0,73	0,71	1.27e-05
Grupo C	T. mosaico	0,04	0,70	0,69	9.02e-08

Nota: Tabla de bondad y ajuste para concentración de fosfatos en los Grupos A, B, C. Se trabajó con el valor de dos cifras significativas. Elaborado por: (Noruña, 2020)

Una vez obtenidos los valores ajustados de R^2 para el modelo de regresión lineal de los tres grupos y sus respectivas variables, podemos observar que el modelo con R^2 ajustado más alto pertenece al Grupo B con un valor de 0,72, mientras que el valor más bajo con 0,67 es para el Grupo A. Así como también se puede observar los valores para RSE y p-value los cuales como valores más bajos pertenecen al Grupo A.

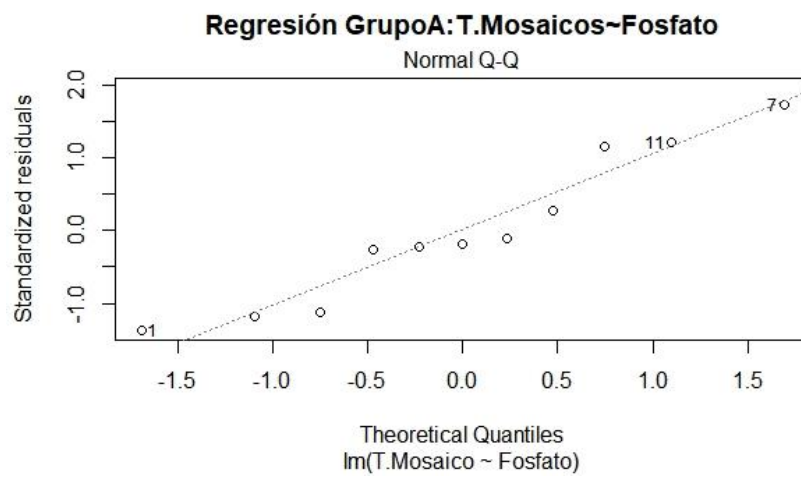
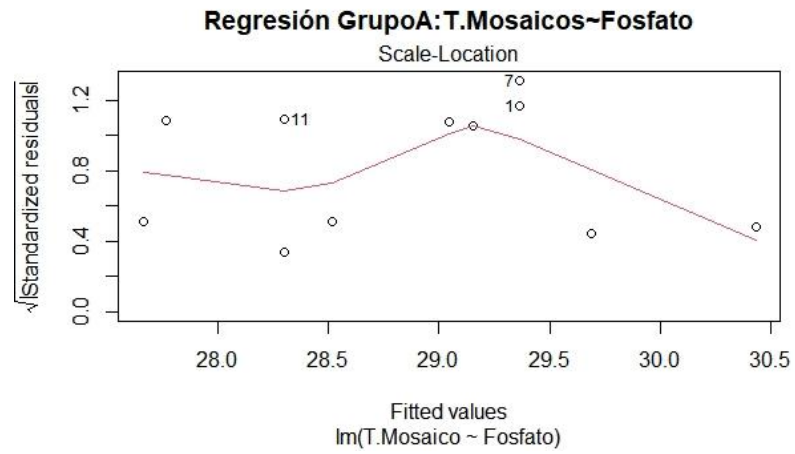
5.4.1. Evaluación de Supuestos de Regresión Lineal.

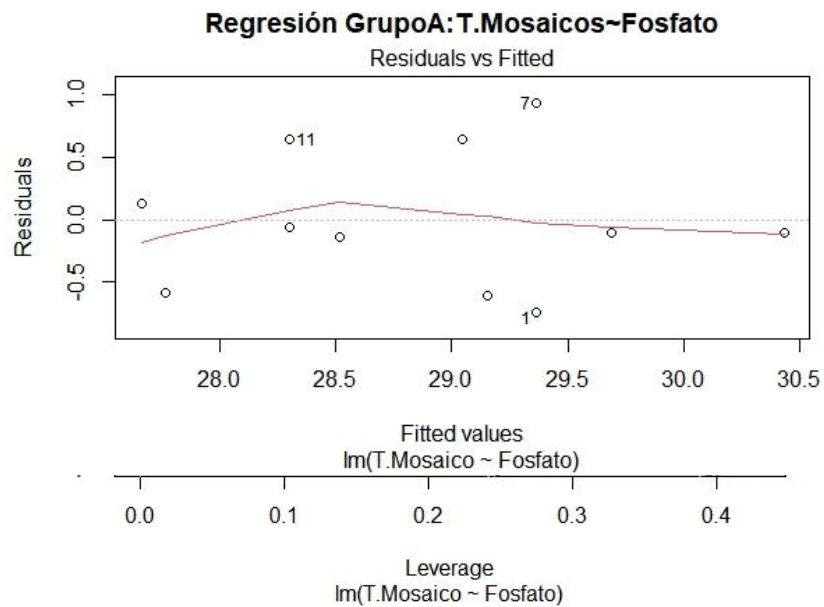
5.4.1.1. Grupos de Diagnóstico. Los supuestos de linealidad se detallarán mediante el diagnóstico de los grupos destinados A, B, C y el análisis de los respectivos modelos de regresión lineal mediante curvas de Cook.

5.4.1.1.1. Gráficos de Diagnóstico para la Validación del Supuesto de Linealidad.

Figura 54*Método Cook para Grupo A*

Regresión Grupo A: Temperatura Mosaico-Fosfato



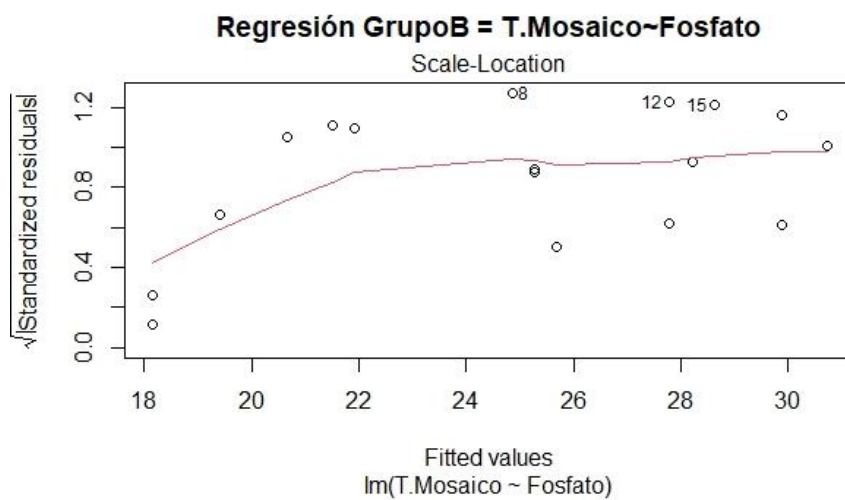


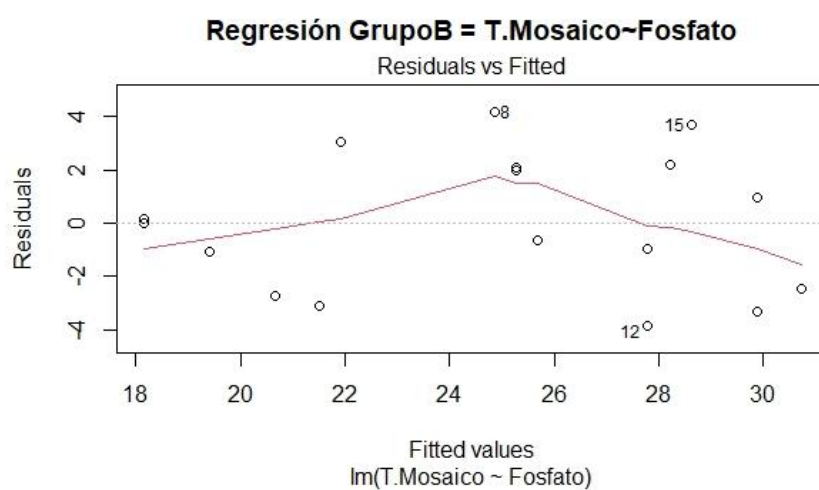
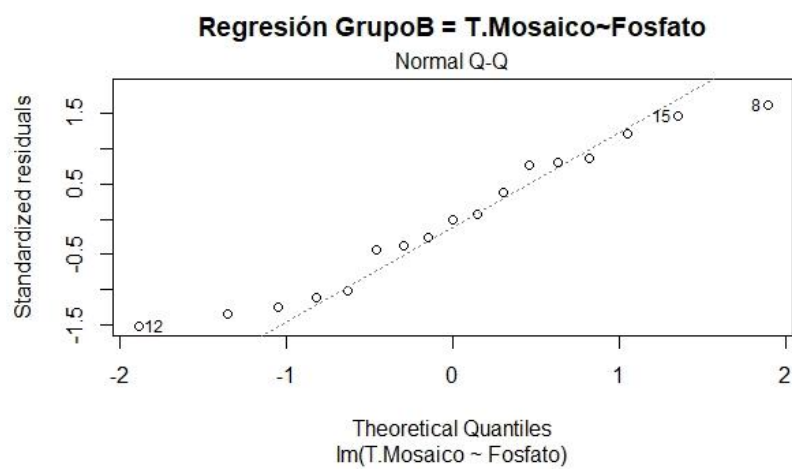
Nota: análisis de concertación de fosfatos en el Grupo A, mediante el método Cook. Elaborado por: (Noroña, 2020)

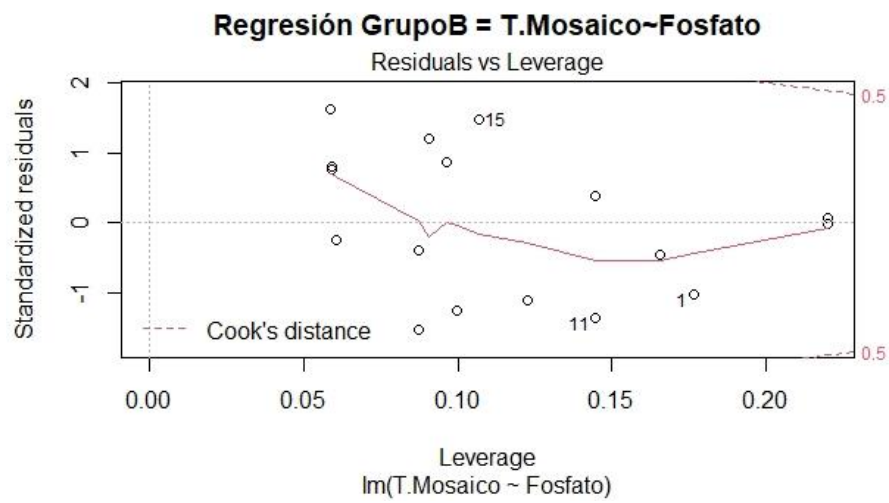
Figura 55

Método Cook para Grupo B

Regresión Grupo B: Temperatura mosaico- Fosfato





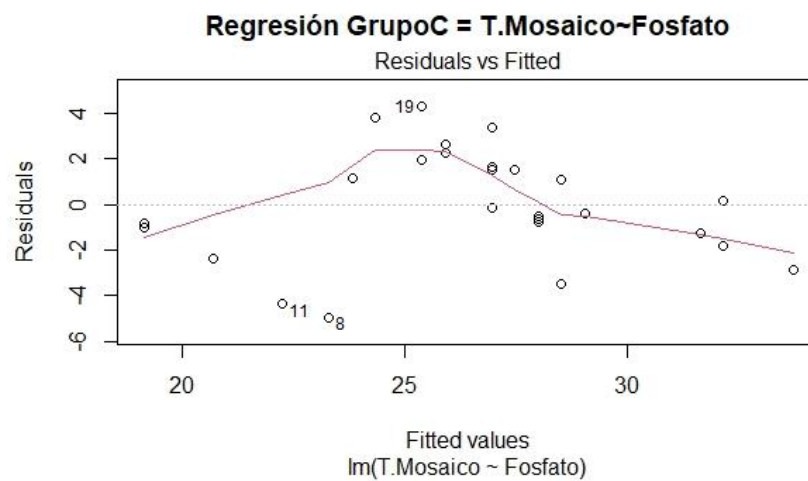


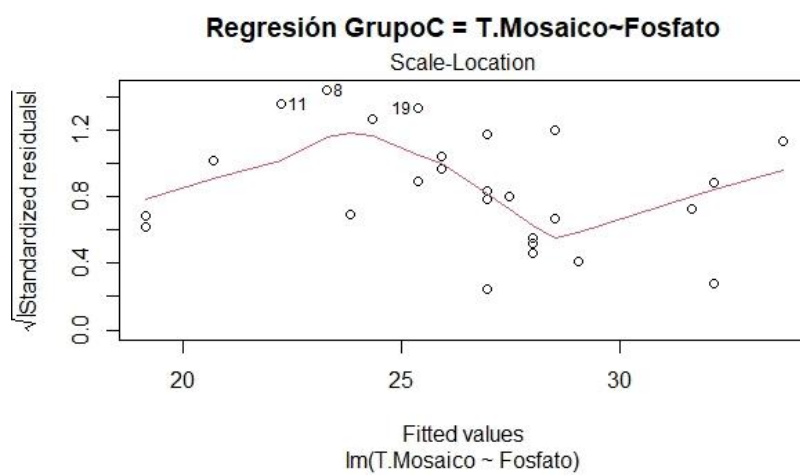
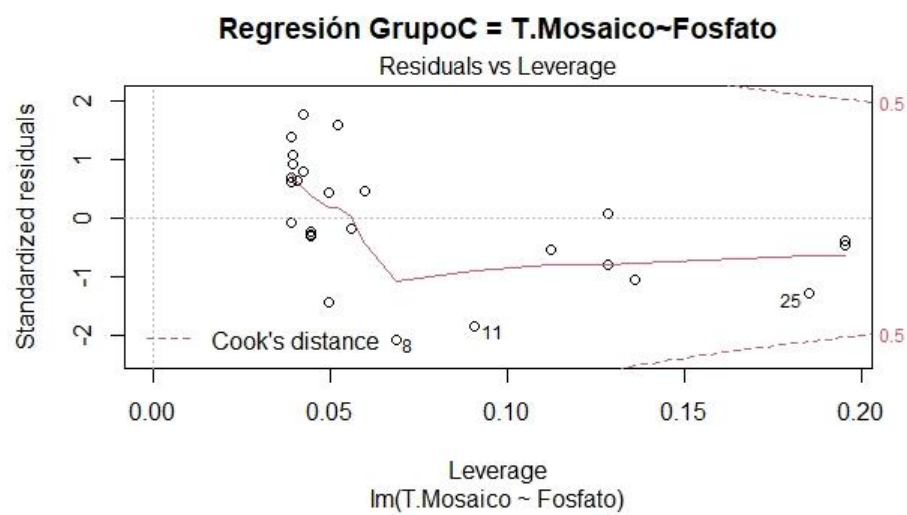
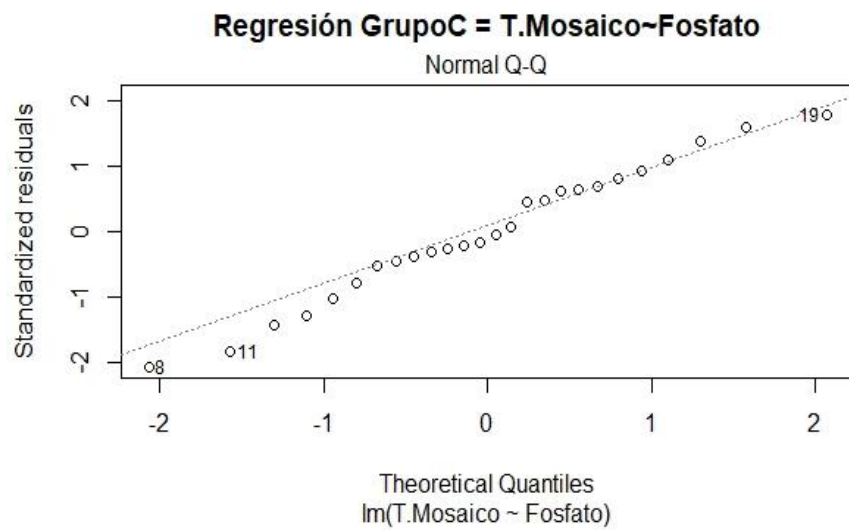
Nota: análisis de concertación de fosfatos en el Grupo B, mediante el método Cook. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Figura 56

Método Cook para Grupo C

Regresión Grupo C: Temperatura mosaico-Fosfato





Nota: análisis de concertación de fosfatos en el Grupo C, mediante el método Cook. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Mediante las gráficas obtenidas se puede observar que para los cuatro modelos creados para cada Grupo respectivamente con las variables dependiente e independiente no se presenta valores atípicos, en caso de que existieran valores que generen alteraciones analíticas se debe excluir y verificar la validez del modelo.

5.4.1.2. Pruebas de Diagnóstico. Las pruebas de diagnósticos presentadas a continuación son la confirmación de los supuestos planteados en los literales previamente analizados.

Tabla 22

Prueba de diagnóstico de supuestos para cada Grupo

Datos	Variable Independiente	Durbin Watson		Shapiro Wilk		Breusch-Pagan	
		DW	p-value	W	p-value	BP	p-value
Grupo A	T. mosaico	1, 88	0,31	0,93	0,378	1,53	0,22
Grupo B	T. mosaico	1,94	0,38	0,93	0,20	0,41	0,52
Grupo C	T. mosaico	1,76	0,22	0,97	0,54	1,19	0,27

Nota: análisis Prueba de diagnóstico de supuesto del MRL para la concentración de fosfatos en cada uno de los grupos. Se trabajó con valores de dos cifras significativas. Elaborado por: (Noroña, 2020)

5.4.1.2.1. Selección y Validación del Mejor Modelo. Mediante el uso del método de validación cruzada K- Fol y el método de selección de modelo Akaike se logró determinar los valores presentes en la tabla descrita a continuación, que los modelos seleccionados son óptimos en relación con la participación de las variables tanto dependiente como independiente para cada grupo de estudio.

Tabla 23

Selección del mejor modelo

Datos	Var. Indep	Selección del mejor modelo	Validación Cruzada de K-Fold		
		Criterio AIC	RSME	R^2	MAE
Grupo A	Fosfatos	-32,86	0,05	0,66	0,04
Grupo B	Fosfatos	-47,04	0,05	0,75	0,05
Grupo C	Fosfatos	-89,66	0,04	0,75	0,04

Nota: análisis de acuerdo a validación cruzada K-Fold y método Akaike para determinación del mejor modelo de cada uno de los grupos. Se trabajó con el valor de dos cifras significativas. Elaborado por: (Noroña, 2020)

5.4.2. Ecuación de MRL para la Obtención de Fosfatos.

Tabla 24

Ecuaciones del MRL

Modelos	Ecuación		R^2	AIC	RSME
A	$Fosfato = -1,00$	$+ 0,06 * T.Mosaico$	0,70	-32,86	0,05
B	$Fosfato = 0,53$	$+ 0,02 * T.Mosaico$	0,73	-47,04	0,05
C	$Fosfato = 0,58$	$+ 0,01 * T.Mosaico$	0,70	-89,66	0,04

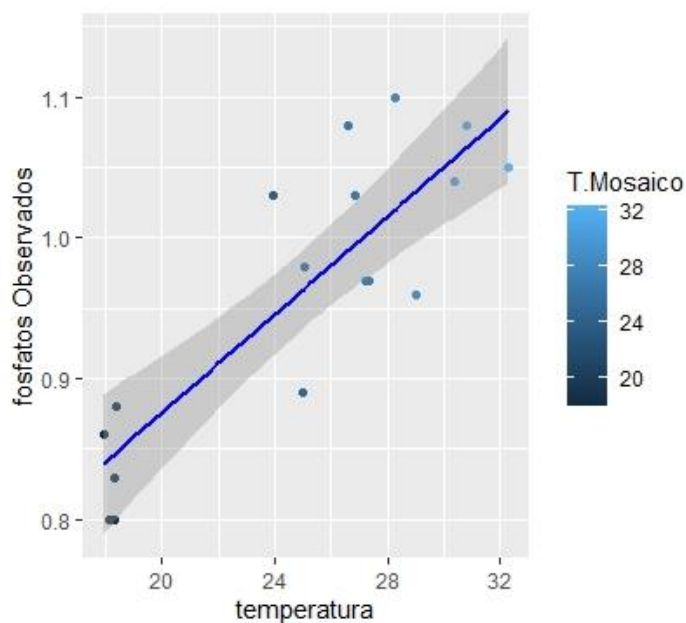
Nota: Ecuaciones para la estimación de fosfatos. Se trabajó con el valor de dos cifras significativas. Elaborado por: (Noroña, 2020)

5.4.3. Predicción y Confianza de los Modelos de Regresión.

Mediante el manejo del programa R estudio se realizó la representación gráfica sobre los intervalos de predicción y confianza para la implementación del modelo de regresión lineal más óptimo, para la determinación de concentración de fosfatos en los cuerpos de agua para cada grupo de estudio.

Figura 57

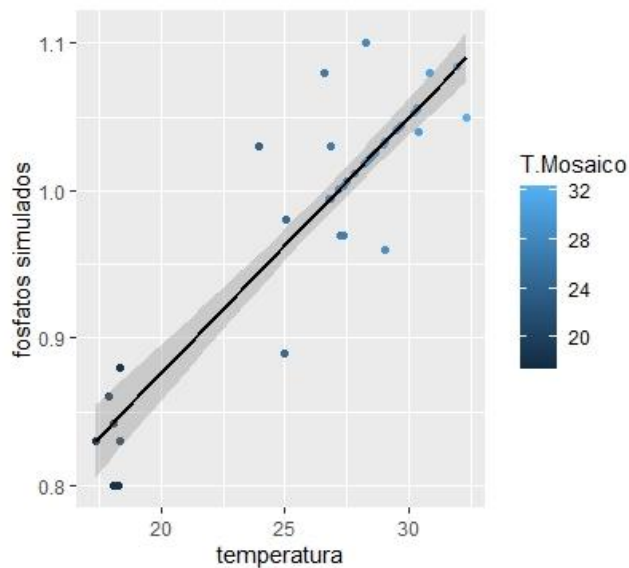
Gráfica de observación y confianza



Nota: Gráfica de observación y confianza para concentración de temperatura vs fosfato. Grafica representando la regresión lineal con los datos obtenidos mediante análisis en laboratorios. Elaborado por: (Noroña, 2020)

Figura 58

Gráfica de predicción y confianza



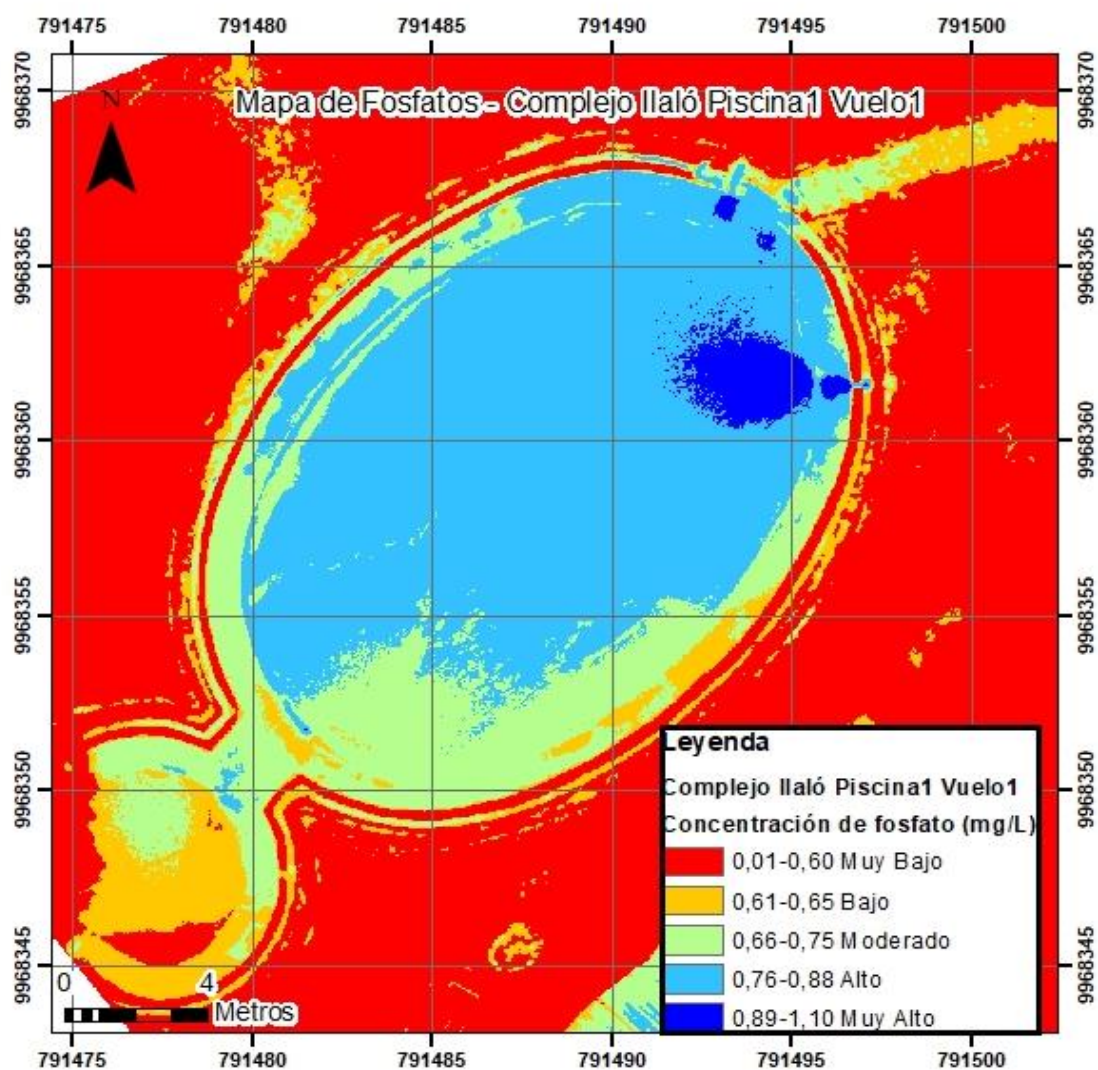
Nota: Gráfica de predicción y confianza de temperatura vs concentración de fosfato. Gráfica representando la simulación mediante la regresión lineal con mejor correlación. Elaborado por: (Noroña, 2020)

5.5. Mapas de Estimación de Parámetros.

Se realizó el diseño de 8 mapas para cada una de las áreas destinadas para su respectivo análisis; se empleó la herramienta de Calculadora Ráster en el programa ArcGIS para generar las imágenes de los Ortomosaico térmicos considerando los parámetros de temperatura y el valor de concentración de fosfatos para la verificación de la incidencia que genera la variable independiente sobre la variable dependiente.

Figura 59

Mapa de Fosfato Piscina 1 Vuelo 1 Ilaló

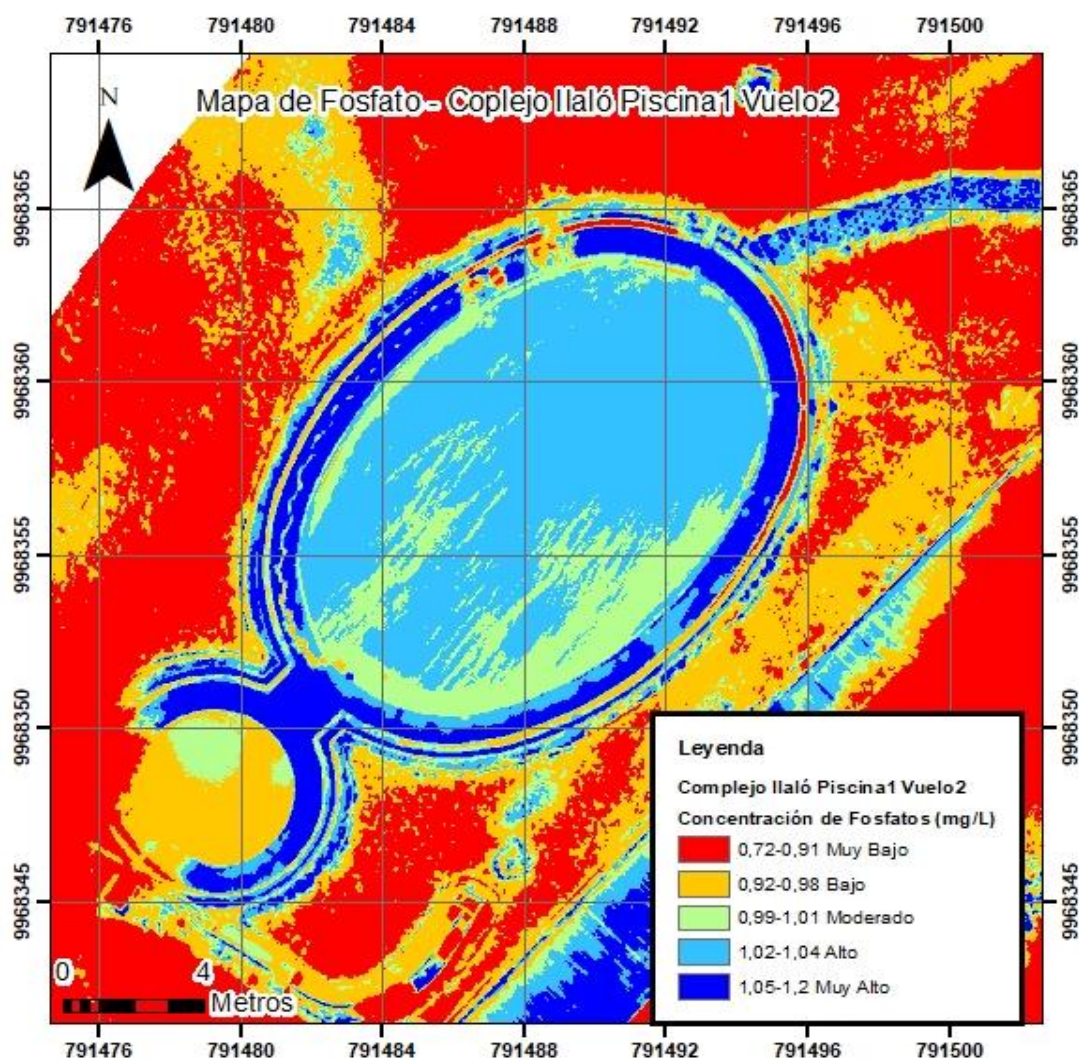


Nota: Mapa de Fosfato generado en ArcGIS, imagen de la piscina 1 vuelo 1 del complejo turístico Ilaló.

Elaborado por: (Noroña, 2020)

Figura 60

Mapa de Fosfato Piscina 1 vuelo 2 Ilaló

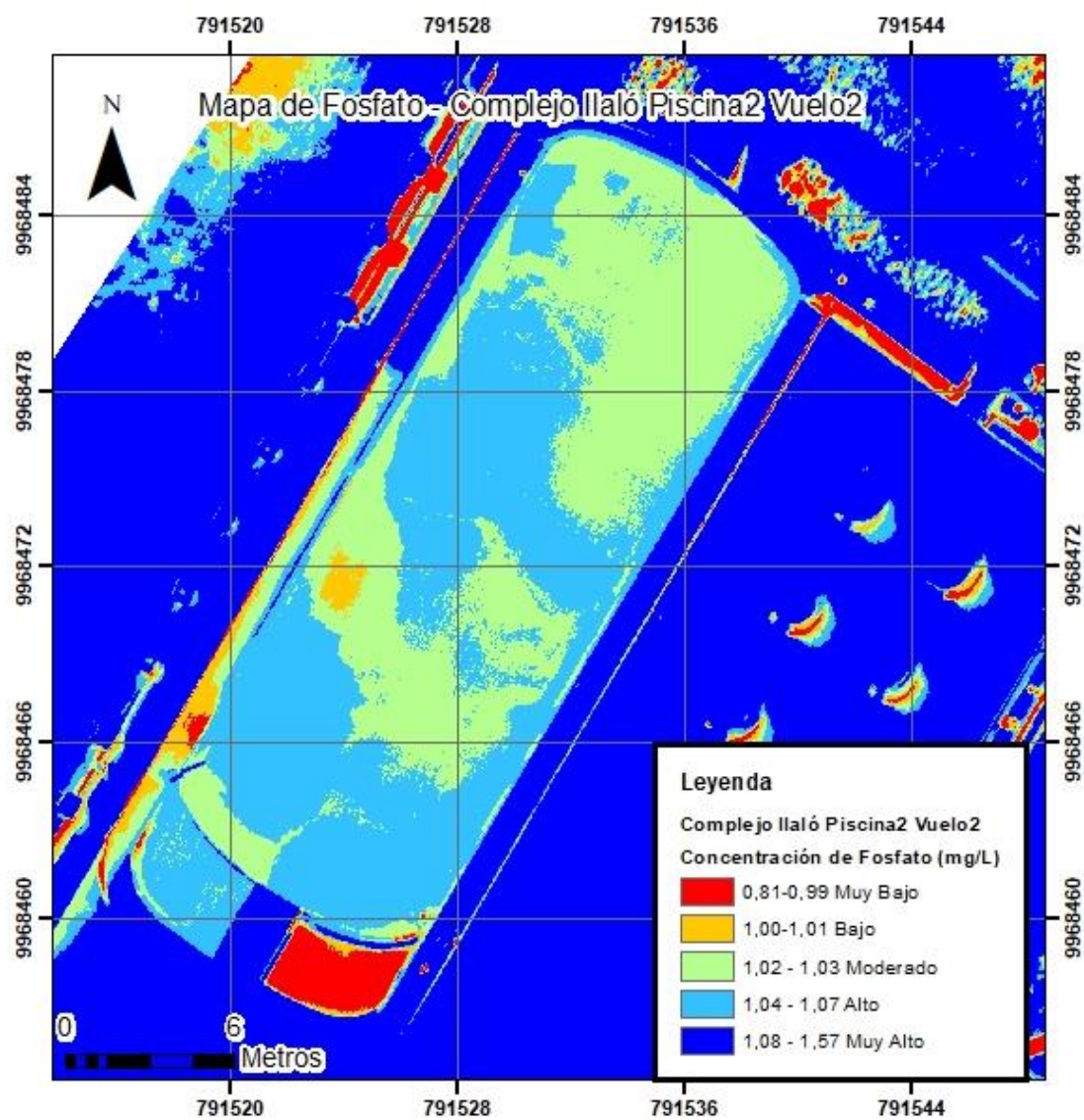


Nota: Mapa de Fosfato generado en ArcGIS, imagen de la piscina 1 vuelo 2 del complejo turístico Ilaló.

Elaborado por: (Noroña, 2020)

Figura 61

Mapa de Fosfato Piscina 2 vuelo 2 Ilaló

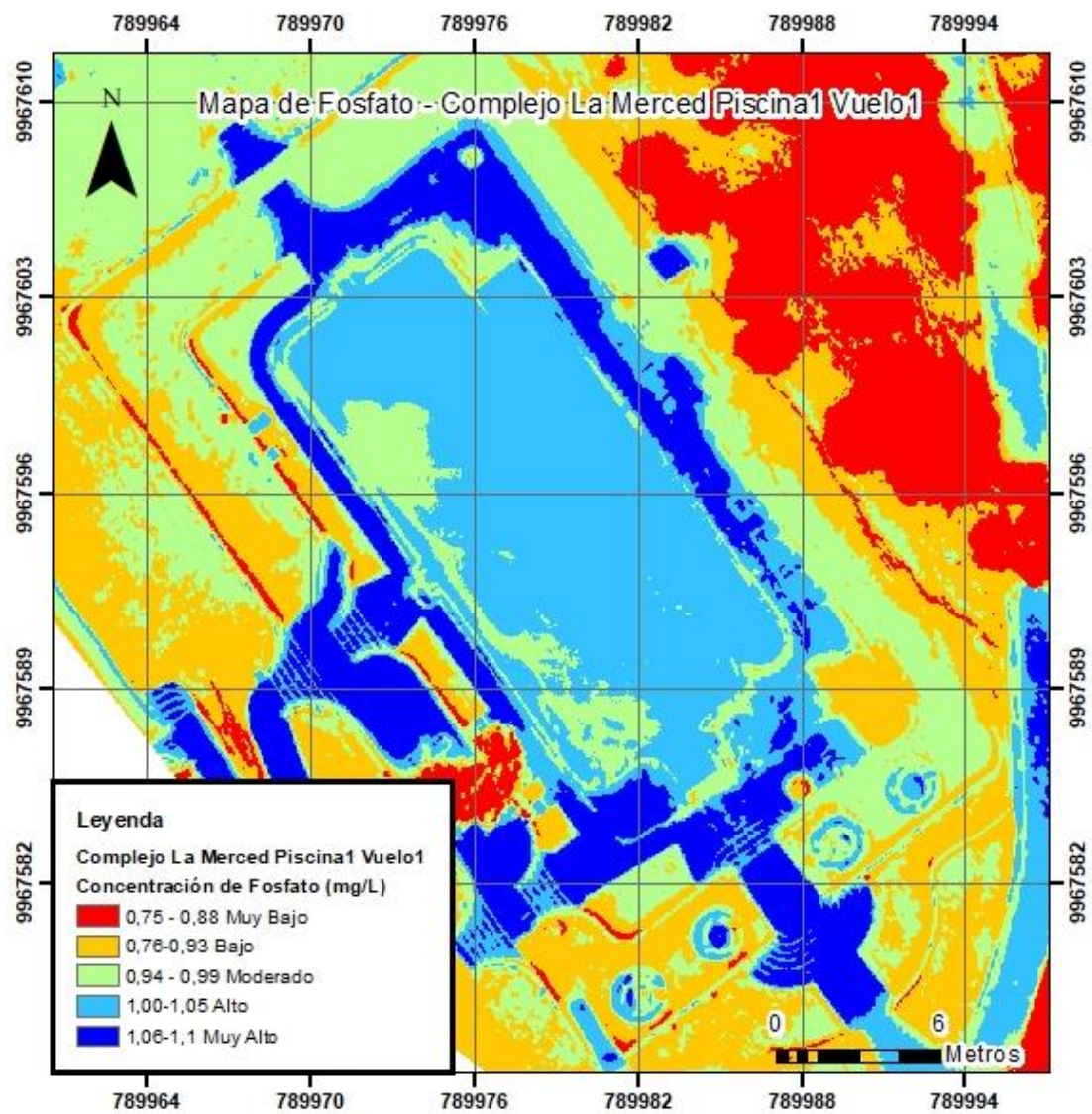


Nota: Mapa de Fosfato generado en ArcGIS, imagen de la piscina 2 vuelo 2 del complejo turístico Ilaló.

Elaborado por: (Noroña, 2020)

Figura 62

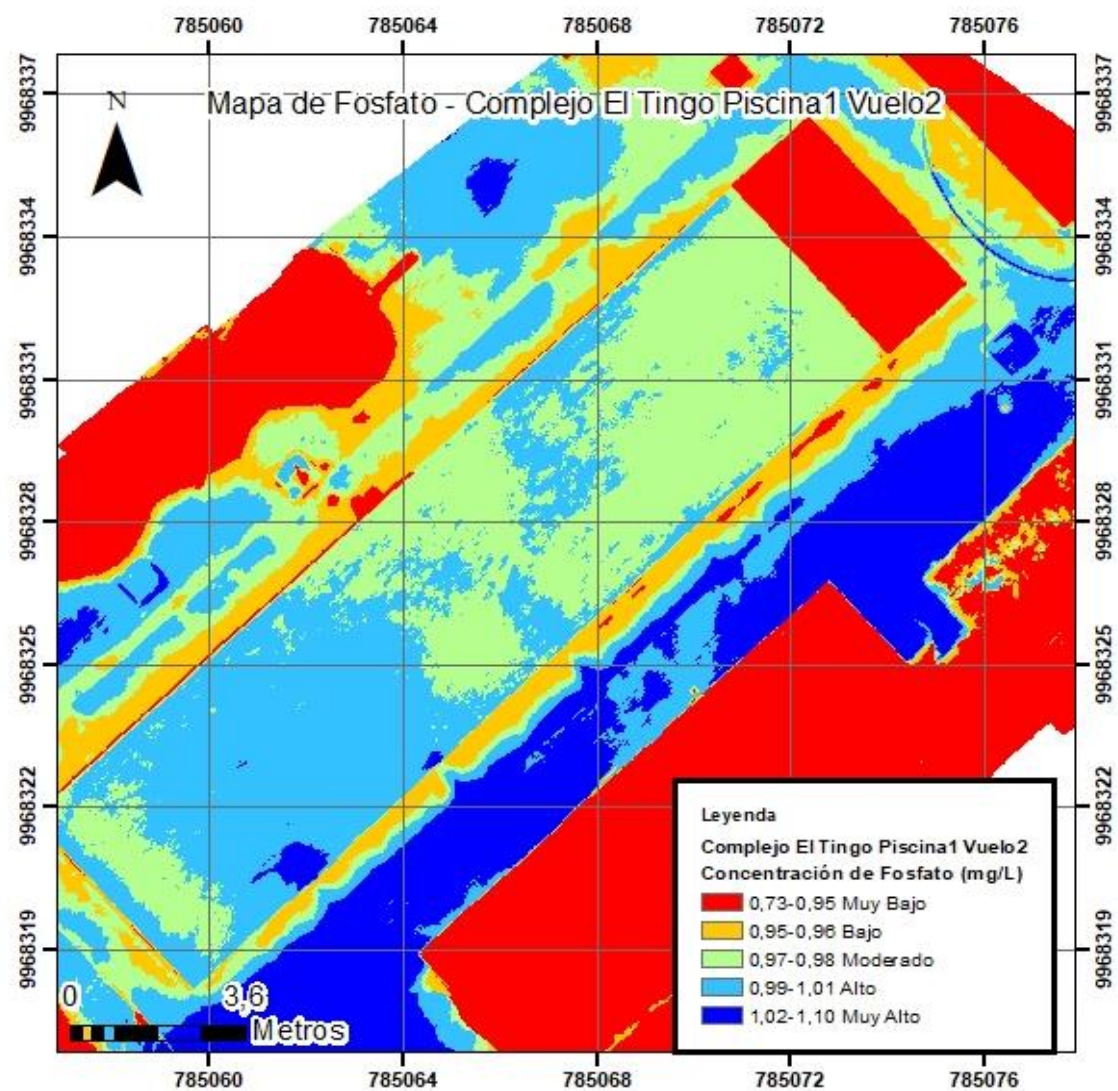
Mapa de Fosfato Piscina 1 vuelo 1 La Merced



Nota: Mapa de Fosfato generado en ArcGIS, piscina1 vuelo 1 complejo turístico La Merced. Elaborado por:
(Noroña, 2020)

Figura 63

Mapa de Fosfato Piscina 1 vuelo 2 El Tingo

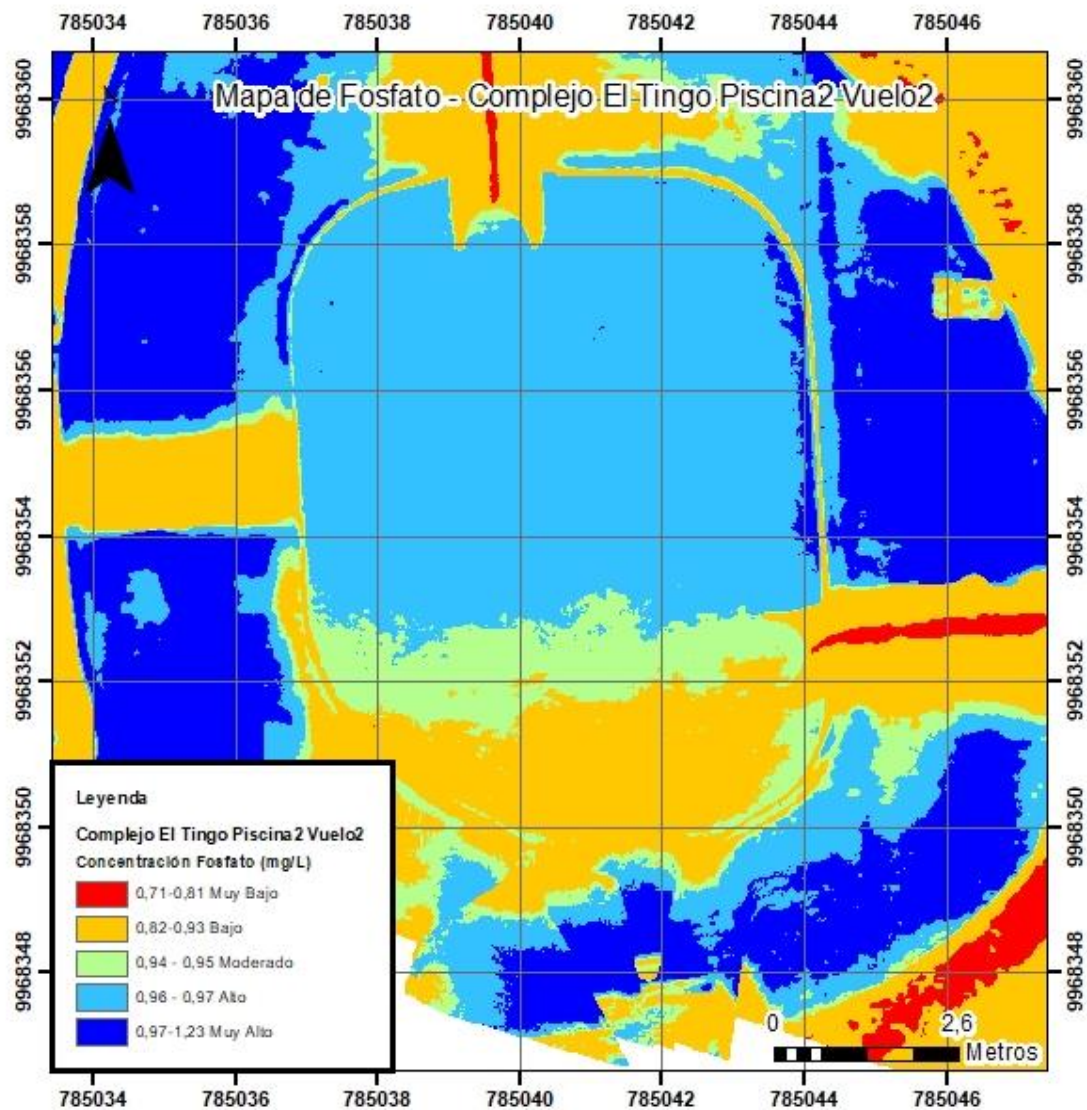


Nota: Mapa de Fosfato generado en ArcGIS, piscina1 vuelo 2 complejo turístico El Tingo. Elaborado por:

(Noroña, 2020)

Figura 64

Mapa de Fosfato Piscina 2 vuelo 2 El Tingo

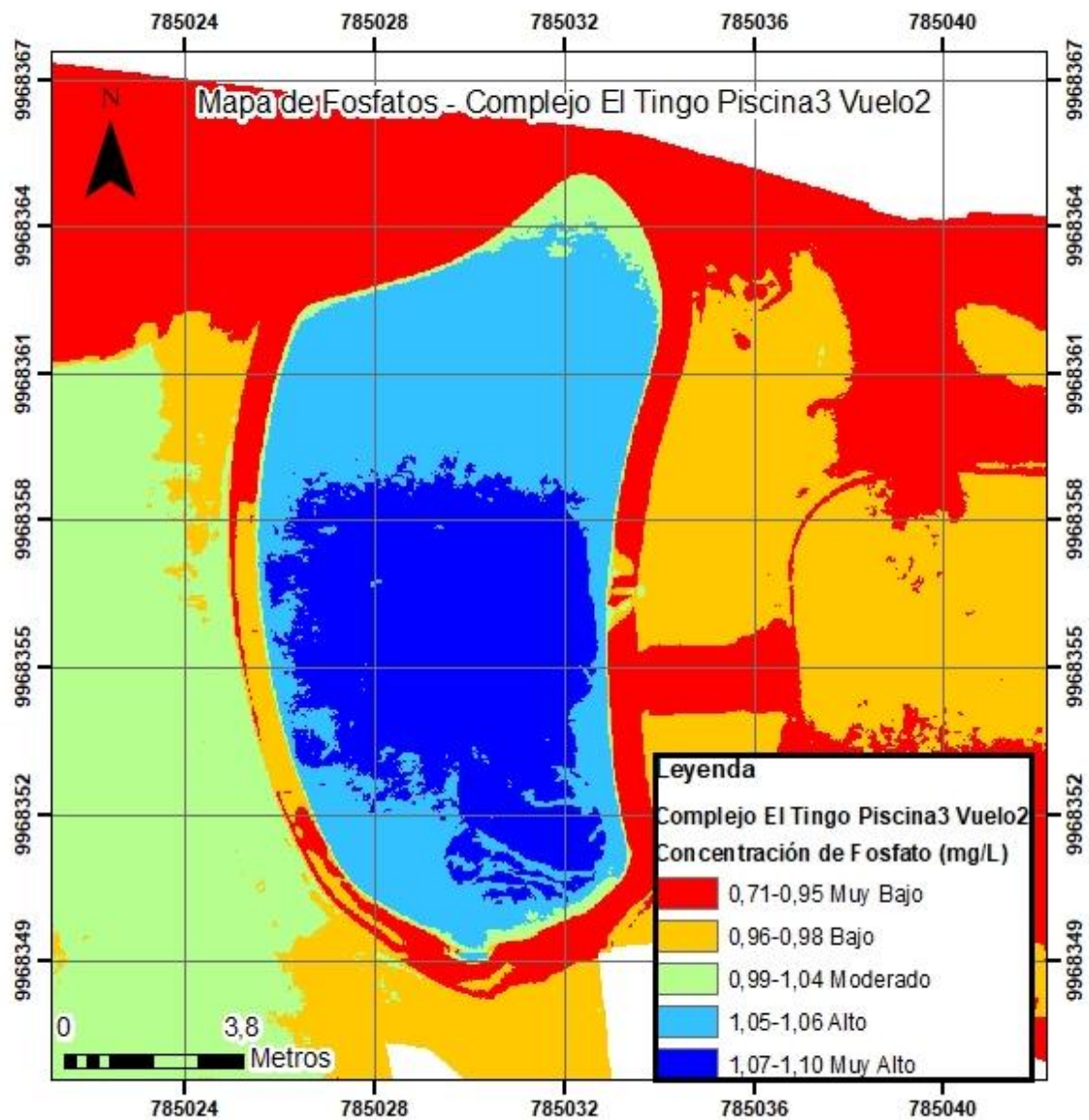


Nota: Mapa de Fosfato generado en ArcGIS, piscina 2 vuelo 2 complejo turístico El Tingo. Elaborado por:

(Noroña, 2020)

Figura 65

Mapa de Fosfato Piscina 3 vuelo 2 El Tingo

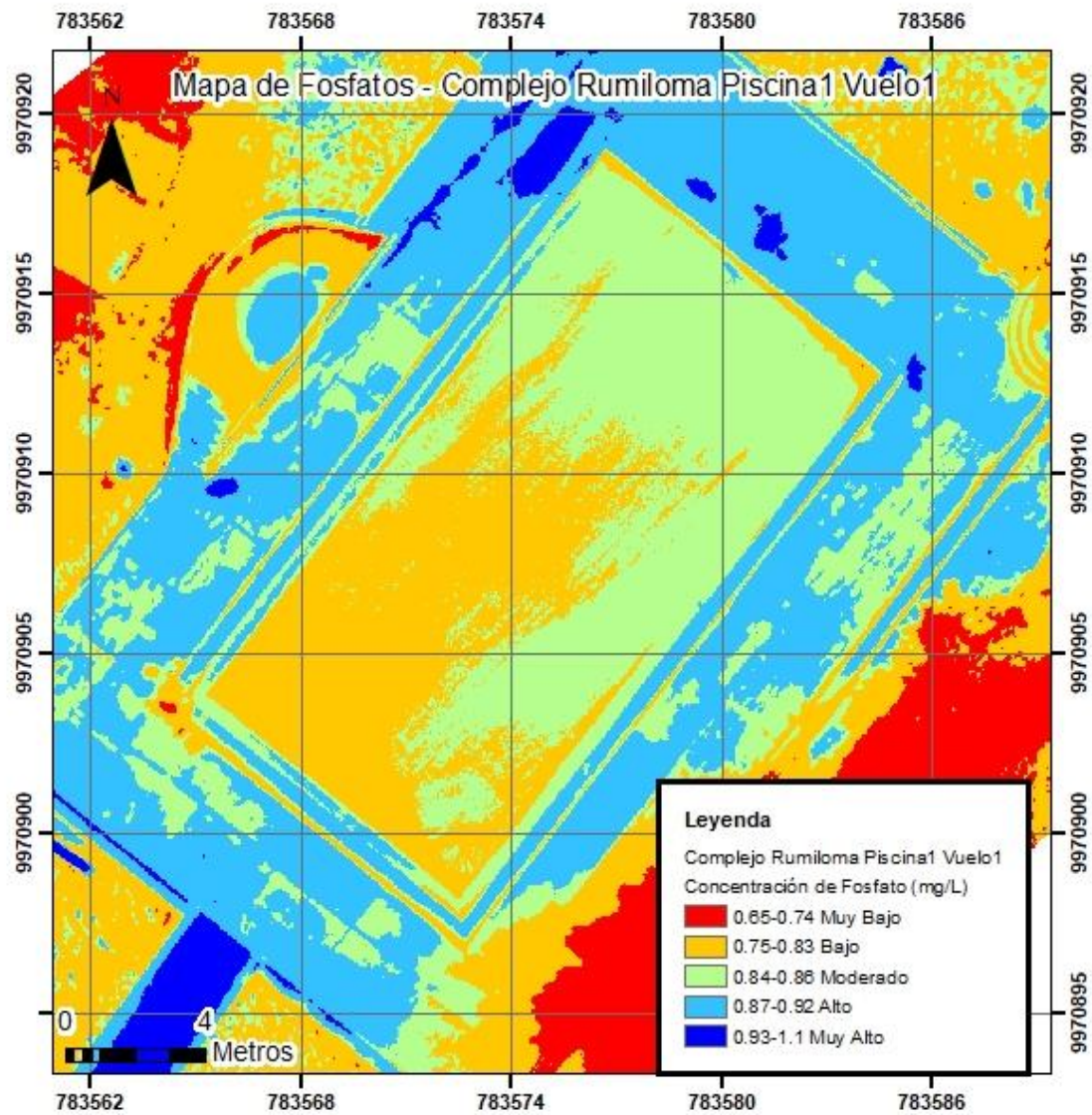


Nota: Mapa de Fosfato generado en ArcGIS, piscina 3 vuelo 2 complejo turístico El Tingo. Elaborado por:

(Noroña, 2020)

Figura 66

Mapa de Fosfato Piscina 1 vuelo 2 Rumiloma



Nota: Mapa de Fosfato generado en ArcGIS, piscina 1 vuelo 1 complejo turístico Rumiloma. Elaborado por:

(Norona, 2020)

5.6. Discusión.

Debido a que en Ecuador no existe una normativa regulatoria que establezca los límites permisibles para iones fosfato se tomaron dos tipos de referencia. La primera está basada en la Normativa de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes (2002), Libro VI Anexo I Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. (TULSMA, 2002) ubicado en la tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, mediante el cual se determina que en relación de valores de concentración de fosfatos las áreas destinadas de estudio se encuentran en el rango permisibles ya que como norma no debe exceder los 10 mg/L y los valores oscilan en el rango de 0,78 y 1, 14 mg/L lo que nos da un promedio aproximado de 0,9 mg/L. Mientras tanto para la segunda referencia tomada se basa en los parámetros descritos por (Organización Mundial de la Salud, 2008) en donde los límites máximos de seguridad para presencia de fosfatos en agua potable son de 0,5 mg/L.

Según un estudio realizado en el Rio Grande Cantón Chone se determinaron factores de temperatura y pH reconociendo que los niveles de fosfato influyen ya que afectan las reacciones de especiación, también se consideró la conductividad eléctrica, pero en menor medida de relación. Hay que tomar en cuenta la estación climática, la ubicación geográfica y los factores adicionales en los que se tomaron las muestras de la investigación que debido a la corriente disminuida por la sequía su variación sería superior que la del trabajo experimental tomado en el Volcán Ilaló; sin embargo se considera como semejanzas en estas dos zonas de estudio la temperatura tiene una relación directamente proporcional al nivel de contracción de fosfatos, mientras aumenta la temperatura los niveles de fosfato aumentan. Este factor es clave para la identificación de puntos de control y remediación debido a que un aumento considerable en los niveles de fosfato puede ocasionar diferentes consecuencias dentro del medio hídrico, a nivel terrestre, vegetativo, social, económico e incluso turístico.

El análisis y muestreo mediante el uso de teledetección es un campo aun amplio por estudiar; sin embargo, en comparación con estudios previamente realizado es notoria la diferencia, los rangos de error al calcular variables como la temperatura son medianamente considerables en comparación con el presente estudio; en donde las variaciones de temperatura y concentración de fosfatos permitió formar un modelo de regresión lineal con predicciones sin sesgos que afecten los resultados. Lo que nos hace inferir en la práctica aplicada sobre el uso de vehículos aéreos no tripulados para la estimación de diversos parámetros, que son considerados de gran importancia a la hora de realizar levantamientos de datos para detectar niveles, concentraciones e incluso abundancia y desarrollo espacial en el medio.

Para la producción de los fosfatos térmicos según (Fernández y Noruega, 2003) se debe exponer a las rocas a una altas temperaturas, lo que ocasiona una mayor ruptura de la estructura cristalina de la roca, mejorando las características de solubilidad del material evaluado. Esto nos permite entender en el trabajo experimental la relación que existe entre la elevación de temperatura y la concentración de fosfatos, ya que debido a la actividad magmática en el volcán Ilaló las rocas llegan a experimentar esas temperaturas, lo cual al existir filtración y escorrentía permiten acumulación de los diversos materiales de los cuales se encuentran formadas las rocas, presentando las aguas de origen magmático mayor concentración de iones como el fosfato.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.

Se estableció el modelo de previsión de fosfatos para cuerpos de agua, de acuerdo a la valoración de parámetros de calidad registrados de manera ``in situ`` y datos calculados mediante fórmulas, métodos y softwares en laboratorio. De los cuales se determinó el modelo de regresión lineal simple como modelo de mayor confianza por su acertada correlación al momento de realizar los pronósticos para la incidencia de la temperatura en fosfatos. Se analizó mediante la herramienta Machine Learning y se verificó gracias a K-Fold que el modelo de mayor eficacia es el que nos proporcionan los resultados del Grupo B ya que su valor de correlación R^2 es de 0,73 que equivaldría al 73% en relación siendo el mayor describiendo correctamente la relación obtenida entre las variables dependiente e independiente.

La aplicación de la teledetección como técnica para la implementación de datos y análisis digital por medio de la cámara térmica es óptima debido al uso de la cámara Zenmuse XT2 se recolectaron los datos necesarios de temperatura en las fuentes termales, además el procesamiento de las fotografías térmicas permitieron la formación de ortomosaicos que con la implementación del modelo de regresión lineal permitió obtener valores de estimados de fosfato en toda la piscina.

debido a los valores de concentración de fosfatos obtenidos en el estudio se puede concluir que se encuentran dentro de la norma de la descarga para agua dulce establecida en Ecuador, lo que implica que las áreas de estudio no se encuentran por sobre el límite que en medida de prolongación no representan afecciones de gravedad para el consumo humano ni para el proceso de eutrofización, siempre y cuando los puntos de estudio como tipo de atracción turística tomen medidas de mantenimiento, caso contrario las aguas podrían llegar a

mineralizarse, y debido a las escorrentías generar precipitaciones en las que el índice de fosfatos podría llegar a concentrarse y en presencia de minerales adicionales generar este tipo de contaminación de bajo impacto.

6.2. Recomendaciones.

Se recomienda para la realización del levantamiento aéreo no tripulado tomar en cuenta con anticipación el estado meteorológico, las condiciones climáticas en las cuales se van a realizar los vuelos ya que es importante considerar factores externos que puedan generar alteraciones al momento de despegue o aterrizaje del dron

Además de realizar un reconocimiento del áreas y uno o dos vuelos de prueba para verificar la disponibilidad espacial en la cual el dron encuentre una superficie óptima, así como verificar que factores como la vegetación no se encuentren extremadamente saturadas para evitar daños o accidentes.

Para la toma de las muestras se recomienda que se realice cuando la afluencia de gente sea menor en el caso de estudios posteriores dentro de instalaciones de tipo turístico o poblado, ya que los datos tomados pueden generar errores significativos que puedan alterar el modelo de investigación.

En la fase de laboratorio se recomienda realizar las pruebas pertinentes hasta máximos tres meses de obtenidas las muestras, el motivo es que las muestras tienden a precipitarse, en el caso del presente estudio las muestras formaron grumos lo cual impidió el uso de dichas muestras.

Finalmente, se recomienda realizar la verificación previa a cada levantamiento que los equipo se encuentren en buen estado, entre ellos la cámara térmica misma que debe contar con la resolución adecuada para posteriormente se formen los ortomosaico térmicos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ACG DRONE. (2020). *ACG DRONE*. Obtenido de <https://acgdrone.com/dji-matrice-600-pro/>
- Angelo Canti . (2020). *boot: Bootstrap Functions*. Recuperado el 20 de 05 de 2020, de For S: <https://cran.r-project.org/web/packages/boot/index.html>
- Aponte, J., & Ospina, J. (2019). Evaluando el desempeño de índices espectrales para identificar humedales alto andinos. *Revista de Teledetección, Crossref. Similitary Check*, 14.
- ArcGis. (2020). Recuperado el 02 de 02 de 2020, de <https://www.arcgis.com/index.html>
- Arenas, I., & López, J. (junio de 2004). Espectrofotometría de Absorción. *Maestría en Ciencias Bioquímicas*. Cuernavaca: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ariza, A. M., Serrato, P., & Rincón, L. (2018). *Uso de índices espectrales derivados de sensores remotos para la caracterización*. Colombia: Perspectiva Geográfica.
- Asociación Española de Ecología Terrestre. (29 de Julio de 2009). *La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones*. Obtenido de <file:///E:/respaldos%2025-04-2020/Descargas/85-165-1-SM.pdf>
- Auge, M. (2008). *Hidrogeología Ambiental*. Buenos Aires- Argentina: Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Bahadur. (30 de septiembre de 2018). *NDVI, NDBI, NDWI Calculation Using Landsat 7,8*. Recuperado el 12 de diciembre de 2019
- Brown, C. (2000). *Ultraviolet, visible and near-infrared spectrophotometers*. *Applied Spectroscopy*.
- Brunnatti, C. (2020). Introducción a la Espectroscopía de Absorción Molecular Ultraviolet, Visible e Infrarrojo cercano. *Ánalsis en Química Analítica*, 10.
- Burbano, N., Becerra, S., & Pasquel, E. (2015). *Introducción a la Hidrogeología del Ecuador*. Quito-Ecuador.
- Calvopiña, K., & Vilela, A. (2017). *Diseño de Tecnosoles para la retención de fosfatos en el agua , de la presa Propósito Múltiple Chone (PPMCH), a partir de muestras de suels del cantón Chone Manabí, Ecuador*. Manabí-Ecuador.
- Candela, L. (2016). Mejora del Conocimeinto de Aguas Subterráneas para contrihuir a su protección, Gestión Integrada y Gobernanza. *Aguas Subterráneas*, 45.
- Carrera, D., Guerrón, E., Cajas, L., & Farinango, T. (2017). *Relación de temperatura, pH y CE en la variación de concentración de fosfatos en el Río Grande, Cantón Chone*. Obtenido de <file:///E:/respaldos%2025-04-2020/Descargas/807-3007-1-PB.pdf>
- Castro, R. (1999). *Sistema para el Seguimiento y Análisis de Tierras mediante Teledetección*. Chile: Desarrollo Agrícola Sostenible.
- Chaucalá, D. (2018). *Estudio de la Calidad Ambiental de las aguas termales del balneario "El Tingo"*. Quito- Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Chávez Quintana, J. M., & Pillajo Tituaña, K. T. (agosto de 2019). *Repositorio UPS*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17630/1/UPS%20-%20ST004223.pdf>
- Cheng, Y., Xue, D., & Li, Y. (2007). *A Fast Mosaic APProach for Remote Sensing Images*. Obtenido de International Conference on Mechatronics and Automation: <https://doi.org/10.1109/ICMA.2007.4303859>
- Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de Teledetección Espacial, Segunda Edición*. Madrid-España: Ediciones RIALP.
- Coll, Vicente;Pérez, Pedro. (2017). *Curso de Introducción a R*. Obtenido de <https://www.uv.es/vcollgraficos.html>
- Cran. R project. (2020). *QuantPsys: herramientas de psicología cuantitativa*. Recuperado el 20 de 05 de 2020, de <https://cran.r-project.org/web/packages/QuantPsys/index.html>
- CuerpodeBomberosdelDMQ. (2020). *Vehículo Aéreo no Tipulado*. Quito.
- Dadzie, E. (2012). *Assessment of heavy metal contamination of the Densu River*. Weija from Leachate. Doctoral dissertation, Thesis.

- Daniela, V. (2018). *Hotel y Complejo Termal turístico-cultural "Ilaló"*. Quito-Ecuador.
- Davison, A. C., & Hinkley, D. V. (1997). En *Bootstrap Methods and Their Applications*. Cambridge University Press.
- DelaFuente, B. (2020). *Relación entre variables: causalidad, correlación y regresión*. Catalunya.
- Delgado, Ronald. (8 de julio de 2018). *Rstudio*. Obtenido de http://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/405322_6d94d05e54b24ba99438f49a6f8662a9.html#:~:text=La%20Validaci%C3%B3n%20Cruzada%20o%20k%20fold%20Cross%20Validation%20consiste%20en,un%20segundo%20conjunto%20de%20validaci%C3%B3n.
- DepartamentodeEstadísticaEInvestigaciónOperativa. (2012). Estadística. *Estadística, FBA*, 31.
- DeteC. (2020). *DJI Detec Drones*. Recuperado el 01 de 08 de 2020, de <https://www.etecdrones.com>
- Díaz, N; Ruiz, A; Fernández, E; Galván, A; Peinado, J; Meléndez, F; Túniz, I. (2020). *Espectrofotometría: Aspectos de Absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas*. Córdoba: Campus Universitario de Rabanales Edicio Severo Ochoa.
- DIFLY Vision. (15 de abril de 2012). *DiFly Vision*. Recuperado el 28 de 07 de 2020, de <https://dflyvision.com/camara-termografica-para-drones>
- DIGESA. (2010). *Parámetros Físico-Químicos*. Recuperado el 25 de 07 de 2020, de http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.PDF
- DJI. (31 de octubre de 2018). *DJI Official*. Recuperado el 02 de 02 de 2020, de <https://www.dji.com/es/newsroom/news/dji-expande-ecosistema-de-drones#:~:text=DJI%20Pilot%20est%C3%A1%20espec%C3%ADficamente%20dise%C3%B1ada,detalle%20y%20realizar%20inspecciones%20semiautom%C3%A1ticas>.
- Dr. Eduardo Ávalos. (2020). *Sistemas Áereos No Tripulados*. Investigación de Sistemas Áereos no Tripulados. Quito-Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Duque, J., & Velez, T. (2019). *Aguas Termales asociadas a fallas geológicas en la costa ecuatoriana*. Quito-Ecuador: GEO Latitud.
- Earth Observing System. (2020). *Listening to the pulse of the Planet*. Obtenido de <https://eos.com/ndwi/es/>
- Escuela Politécnica Nacional. (2020). *Escuela Politécnica Nacional*. Recuperado el 29 de 07 de 2020, de <http://www.epn.edu.ec/ciencia-e-investigacion-detras-de-drones-y-sistemas-no-tripulados-se-expuso-en-conferencia/>
- Fagundo, G., & González, P. (2009). *Aguas Naturales, minerales y minominerales*. Recuperado el 23 de 07 de 2020, de <http://www.sld.cu/sitios/mednat/docs/aguas.pdf>
- Fernández, S., & Noruega, R. (2003). *Producción de fosfatos térmicos a partir de rocas fosfóricas nacionales*.
- Fox, J., & Weisberg, S. (21 de Mayo de 2020). *car: Companion to Applied Regression*. Recuperado el 03 de 06 de 2020, de <https://cran.r-project.org/web/packages/car/index.html>
- Franco, V. (2007). *Estadística descriptiva para la Ingeniería Ambiental*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Franzmeier, D., & McFee, W. &. (2016). *Soil Science Simplified*. Canada: (Waveland Press, Ed)Sixth.
- GEO ESPATIAL. (2020). *GEO ESPATIAL*. Recuperado el 2 de Junio de 2020, de <https://spectrageospatial.com/mobilemapper-50/?lang=es>
- Glynn, J., & Heinke, G. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México: Prentice Hall, Segunda Edición.
- GobiernoParroquialLaMerced. (23 de 10 de 2009). *La Merced*. Recuperado el 28 de 07 de 2020, de <http://www.lamerced.gob.ec/web/index.php/la-parroquia/informacion-general>
- González, P., & Orbe, S. (2019). *El modelo de regresión lineal general. Ingerencia y Predicción*. Dpto. Economía Aplicada. Obtenido de inferencia y prediccion : file:///C:/Users/personal/Downloads/Contenido_Tema_T6.pdf
- Goyenola, G. (junio de 2007). *Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos*. Obtenido de RED MAPSA: <https://iamsd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/>
- Hagerman, I. (20 de diciembre de 2017). *Gráficos residuales Parte 3: gráfico de ubicación de escala*. Obtenido de <https://medium.com/data-distilled/residual-plots-part-3-scale-location-plot-113e469b99c>

- Hanna Instruments. (2020). *Hanna*. Obtenido de <https://www.hannacolombia.com/agro/productos/kit-de-reactivo-para-fosfato-rango-bajo-100-tests>
- Hanna Instruments. (2020). *Hanna Colombia*. Recuperado el 02 de 12 de 2019, de <https://www.hannacolombia.com>
- Harris, D. (2008). *Análisis Químico Cuantitativo*. 2da Edición: Reverte.
- HEMAV. (20 de Febrero de 2018). *HEMAV*. Recuperado el 01 de agosto de 2020, de <https://hemav.com/agricultura-de-presicion-teledeteccion-satelital-vs-teledeteccion-con-drones/>
- Heredia, O., Fresina, M., Santa Cruz, J., & Busso, S. (s.f). Nitratos y Fósforo en el agua subterránea antropizada de la región Pampeana-Buenos Aires República Argentina. *1ª Join Word Congress on Groundwater*, 13.
- HOBBYTUXTLA. (2019). Recuperado el 10 de junio de 2020, de <https://www.hobbytuxtla.com/drones-profesionales/dji-matrice-600-pro/>
- HOBBYTUXTLA. (2019). *HOBBYTUXTLA*. Recuperado el 10 de Junio de 2020, de <https://www.hobbytuxtla.com/drones-profesionales/dji-matrice-600-pro/>
- IGEP. (2020). *IGEP*. Quito-Ecuador.
- INEN. (Marzo de 2004). *Calidad del Agua. Determinación del pH*. Recuperado el 25 de 07 de 2020, de http://www.normalizacion.gog.ec/wp-content/uploads/2014/EXTRACTO_2014/MAR/01102014/10523-UNIDO-EX.PDF
- Jacho, E. (2015). *Estudio Microbiológico del mnantial termal del balneario Rumiloma de la parroquia Guangopolo perteneciente a la Pichincha*. Riobamba-Ecuador: Escuela Superior de Chimborazo. Facultad de Ciencias.
- Jardon, C. (2020). *heterocedastidad*. Obtenido de Universidad de Vigo: <http://cjardon.webs.uvigo.es/Transparencias/Unidad7.pdf>
- Levin, N. (1999). *Fundamentals of Remote Sensing*. Trieste-Italia.
- López, Francisco. (01 de 02 de 2020). *Economipedia*. Recuperado el 02 de 08 de 2020, de <https://economipedia.com>
- López, J., Fornés, J., Ramos, G., & Villarroja, F. (2009). *Las aguas Subterráneas. Un recurso natural del Subsuelo*. Madrid: Fundación Marcelino Botín.
- LUMINARIAS. (2020). *luminarias*. Obtenido de Sistemas de control. Fotometría: <https://grum.de.upc/manual/sistemasiluminacion-fotometria.php>
- Martínez, D., Albín, L., Cabaleiro, J., & Pena, T. (18 de septiembre de 2019). Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/236279245>
- Minitab 18. (2020). *Soporte de Minitab 18*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/doe/how-to/factorial/analyze-variability/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/residual-plots/>
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2015). *Informe No. IC-O-2015-092*. Quito-Ecuador.
- Naranjo, C. (2015). *Identificación de Micro-gen™ GN-ID*. Camberley-Reino Uni-do.: <http://www.medica-tec.com/chi/files/MICROGEN-GN-ID-MID64-641-65.pdf> [Recopilado: 19/02/2020].
- Navarro Frías, D. (2009). *Métodos y diseños de investigación*. Valencia: OpenCourseWare.
- Noroña, V. (2020). Quito, Pichincha, Ecuador.
- OMS. (27 de 06 de 2006). *Guía para la calidad del agua potable*. Recuperado el 25 de 07 de 2020, de Incluye Primer Apéndice. Vol1: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (2008). *WHO*.
- Pinagua, J. (2010). *Infraestructura Hidrotermal*. Madrid-España: Instituto Tecnológico GeoMinero.
- Pinuaga, J. (1992). *Infraestructura Hidrotermal*. Recuperado el 21 de 07 de 2020, de http://www.igme.es/actividadesIGME/lineas/HidroyCA/publica/libros5_AMyT/jor_aguas_mine/pdfjor_aguas_mine/3_infraestructura.pdf
- Pix4D. (2020). *Pix4D*. Recuperado el 02 de 02 de 2020, de <https://www.pix4d.com/es/producto/pix4dmapper-fotogrametria-software>
- ProdinLab. (2019). *ProdinLab*. Recuperado el 05 de 01 de 2020, de

- <https://www.prodinlab.com/multiparametro-hq30d/>
- Pütz, P. (2020). *Eliminación y Detección de Fosfatos*. United for Water Quality.
- R Studio. (2020). Recuperado el 02 de 02 de 2020, de <https://rstudio.com/about/>
- Rojas, D., & Paredes, J. (2013). *Compendio de Geología General*. Lima-Perú: Macro EIRL.
- Román, V. (27 de febrero de 2019). *Ciencia y Datos*. Obtenido de <https://medium.com/datos-y-ciencia/machine-learning-supervisado-fundamentos-de-la-regresi%C3%B3n-lineal-bbcb07fe7fd>
- Romer, M. (julio de 2016). Metodología de la Investigación. *Pruebas de Bondad de Ajuste a una Distribución Norma*l, 112-113.
- Romero, F. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *AquaTic*, 29.
- Romero, P. (1972). Influencia de la Impermeabilización parcial del suelo sobre la aireación y la movilidad de nutrientes. *Instituto Interamericano de Ciencias Agrícola de la OEA*.
- Rosales, A. (2017). *Econometría aplicada utilizando R*. PAPIME.
- Sacoto, D. (2019). *Microbiota del agua termal del Balneario Ilaló en la provincia de Pichincha-Ecuador y sus propiedades biotecnológicas e industriales*. Quito-Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Sacoto, D., & Andueza, F. (2020). *MIROBIOLOGÍA DEL AGUA TERMAL DEL BALNEARIO ILALÓ. PICHINCHA, ECUADOR*. Quito-Ecuador: FIGEMPA.
- Secretaría del Ambiente. (2013). *Caracterización del Área de Intervención y Recuperación Volcán Ilaló y Bosque Protector Flanco Oriental del Volcán Pichincha y Cinturón Verde de Quito*. Quito: Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.
- SPECTRA GEOESPATIAL . (2020). *SPECTRA GEOESPATIAL*. Recuperado el 2 de Junio de 2020, de <https://spectrageospatial.com/mobilemapper-50/?lang=es>
- Statistical Discovery. (19 de abril de 2019). *JMP*. Obtenido de <https://community.jmp.com/t5/Discussions/Cook-s-D-influence/td-p/193181>
- Statistical Discovery. (16 de abril de 2019). *JMP*. Obtenido de <https://community.jmp.com/t5/Discussions/Cook-s-D-influence/td-p/193181#>
- Statistics Simplified. (02 de abril de 2020). *STATOLOGY*. Obtenido de <https://www.statology.org/durbin-watson-test-r/>
- Susan, M. (1999). *Estadística para Biología y Salud*. McGraw Hill.
- Techlab. (2014). *Wquijos de Laboratorio y Control Ambiental*. Recuperado el 02 de 08 de 2020, de <https://www.rptechlab.com/producto/multiparametro-de-campo-medidor-de-calidad-de-agua/>
- TermasLaMerced. (23 de 10 de 2012). *Termas de la Merced*. Recuperado el 28 de 07 de 2020, de <http://www.termasdelamerced.com/#>
- The Pennsylvania State University. (2018). *Penn State Eberly College of Science*. Obtenido de Análisis de Regresión Aplicada: <https://online.stat.psu.edu/stat462/node/117/>
- Tidyverse. (2020). *Tidyverse*. Recuperado el 20 de 03 de 2020, de <https://www.tidyverse.org/packages/>
- TULSMA. (2002). *Libro VI*. Quito.
- TYCOGIS. (2013). *ÁREAS DE TELEDETECCIÓN*. Obtenido de <http://www.trabajosyclasesgis.com/index.php/teledeteccion/teledeteccion-agua.html>
- Valencia, D. (2018). *Hotel y Complejo Termal turístico-cultural "Ilaló"*. Quito-Ecuador.
- Vaquero, R. (03 de octubre de 2008). *Análisis y Decisión*. Obtenido de <https://analisisydecision.es/manual-curso-introduccion-de-r-capitulo-10-funciones-graficas-en-regresion-lineal/>
- Velasquez Vasconez, A. M., Vargas, A., & A., P. (01 de febrero de 2018). Obtenido de <https://rpubs.com/PAVelasquezVasconez/354989>